BIBLIOTECA BASICA INFORMATICA

CAD/CAM



el ordenador a los mandos

INGELEK

BIBLIOTECA BASICA INFORMATICA

CAD/CAM

36

el ordenador a los mandos

INGELEK

Director editor:
Antonio M. Ferrer Abelló.

Director de producción:
Vicente Robles.

Coordinador y supervisión técnica:
Enrique Monsalve.

Redactor técnico:
Carlos Delama

Colaboradores:
Casimiro Zaragoza

Diseño:
Bravo/Lofish.

Dibujos:
José Ochoa.

ISBN del tomo: 84-85831-82-9
ISBN de la obra: 84-85831-31-4
Fotocomposición Pérez Díaz, S. A.
Imprime: Héroes, S. A.
Depósito Legal: M-23048-1986
Precio en Canarias, Ceuta y Melilla: 380 pts.



INDICE

PROLOGO

La tecnología informática ha supuesto, desde su entrada en nuestro mundo, una auténtica revolución que nos ha permitido realizar tareas hasta hace poco tiempo insospechadas. Todos nuestros procesos inteligentes se han visto de alguna manera afectado al ser éstos, en esencia, mecanismos de transformación, gestión y transmisión de información.

Visto en el tiempo, el cambio ha sido aún más espectacular, casi diríamos que explosivo: en apenas treinta años todas nuestras actividades han resultado "alcanzadas".

La palabra "cerebro electrónico" o "computador", antaño pronunciadas con un temor reverencial y un cierto carácter mágico han pasado a ser de uso común, a la vez que un nuevo lenguaje, todo él de siglas, ha comenzado a ser coloquial. Simultáneamente, han aparecido los elementos físicos, los aparatos de la nueva tecnología, lo que denominamos en nuestra nueva jerga el hardware. Estos "cacharros", impulsados por un marketing agresivo y el encanto indiscutible de sus posibilidades, han comenzado a pasar de nuestro puesto de trabajo a nuestros hogares, convirtiéndose en un símbolo más de nuestra civilización de consumo.

El presente volumen trata de introducir al lector en un marco informático no excesivamente desbrozado, todavía en mantillas; se trata de trabajar con información, pero no una información cualquiera, sino información gráfica o, más concretamente, información geométrica. Este tipo de información tiene características especiales respecto a la típica información escalar de los procesos de gestión; podríamos decir que contiene un mayor número de grados de libertad, y de ahí la dificultad de su tratamiento.

Nuestro objetivo es la introducción en esta nueva tecnología, conocida como CAD/CAM, así como la sugerencia de aplicacio-

nes de utilidad en el proceso de la creación y producción industrial. El lector no debe esperar de este libro un tratado de CAD/CAM, ya que lo denso del tema no permite conseguirlo en una colección de las características de la B.B.I. Pretendemos, eso sí, dar una exposición veraz, y en algunos casos desmitificadora, de una tecnología que a veces ha sido divulgada de una forma un tanto "espectacular".

Confiamos en que al final de su lectura el lector domine un nuevo vocabulario y, sobre todo, conozca, al menos de forma sucinta, las aplicaciones que de esta tecnología existen.

Nos iremos adentrando en la materia a lo largo de los siete capítulos que junto con la Bibliografía y el Glosario de Términos configuran este volumen. En el primer capítulo trataremos de conocer qué es el CAD/CAM y haremos un breve bosquejo histórico de esta joven y prometedora tecnología desde su nacimiento hasta su estado actual. El segundo capítulo lo dedicamos a la descripción de las herramientas del CAD/CAM, tanto hardware como software. Veremos toda una panoplia de nuevos instrumentos o, mejor dicho, aparatos ya existentes adaptados a la nueva tecnología. También nos ocuparemos de algo un tanto más abstracto, como son las representaciones de nuestro mundo geométrico. Describiremos todas las formas de representación que existen en la actualidad de los objetos tridimensionales.

En el capítulo tercero se nos descubre todo el mundo del CAD/CAM y las tecnologías asociadas. Un mundo de siglas y vocablos que serán explicados y descritos.

Todo lo anteriormente expuesto nos sitúa ante un marco teórico sugestivo y atrayente ahora la pregunta inmediata es ¿para qué sirve? A fin de que nadie pueda sentirse defraudado, en el capítulo cuatro haremos una exposición de un proceso de producción industrial estándar y veremos en qué fases podremos aplicar el CAD/CAM.

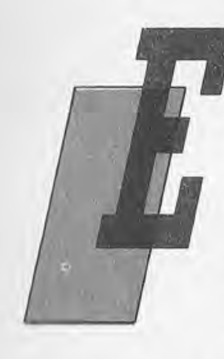
Todo lo expuesto hasta ese momento es demasiado bueno para ser cierto; como no podía ser menos, algún problema tiene que tener el CAD/CAM. El fundamental, aunque no exclusivo de esta tecnología, es la comunicación de información entre sistemas diferentes. Este problema y sus posibles soluciones serán objeto del capítulo quinto.

El sexto nos describe el CAD/CAM desde el punto de vista comercial, describiendo las soluciones existentes y su implantación en el mercado. Finalmente, pondremos en funcionamiento nuestra "bola de cristal" para predecir qué nos deparará el futuro.

Confiamos en conseguir que el CAD/CAM y todas sus tecnologías asociadas dejen de ser para el lector una incógnita y que se asuman simplemente como lo que son: unas herramientas productivas.

CAPITULO I

¿QUE ES EL CAD/CAM?



El término CAD/CAM es un anglicismo que cada vez es más corriente oír en los ambientes industriales, pero ¿qué es exactamente lo que significa? En sentido literal, CAD/CAM es el acrónimo de dos expresiones inglesas:

CAD = Computer Aided Design (Diseño Asistido por Ordenador)
CAM = Computer Aided Manufacturing (Fabricación Asistida por Ordenador)

Es decir, CAD es Diseño Asistido por Ordenador, y CAM, Fabricación Asistida por Ordenador. Como vemos, el CAD y el CAM son disciplinas distintas, si bien a lo largo de este libro el término CAD/CAM será utilizado para ambas debido a su mayor aceptación.

El CAD/CAM es, por tanto, una nueva aplicación de la informática, diferente de las hasta ahora tradicionales (gestión y cálculo científico). El propósito de esta nueva disciplina es el diseño y producción (fabricación) de objetos utilizando técnicas informáticas diferentes de las convencionales.

Movido por este fin, el CAD/CAM creará una serie de dispositivos gracias a los cuales resulte más simple el manejo, hasta ahora dificultoso, de entidades geométricas. En definitiva, no hará sino utilizar los ordenadores para facilitar la capacidad de diseño y fabricación.

El CAD/CAM está directamente asociado a la idea de "Gráficos Interactivos", expresión cuyo significado viene determinada por el término *interactivo*, con el que queremos indicar que el ope-

rador, mediante su acción sobre determinados dispositivos, produce modificaciones de los gráficos que el ordenador muestra. Efectivamente, en CAD/CAM se establece un diálogo entre el dispositivo que más adelante describiremos, denominado Estación de Trabajo, y el ordenador. Esta idea quizá nos pueda parecer algo compleja, pero es casi seguro que el lector ha experimentado alguna vez este tipo de diálogo, aunque probablemente sin percatarse. Imaginemos un Videojuego; en él el operador realiza operaciones con el "Joystick" que determinan la modificación de las imagenes mostradas en el televisor. El programa que ejecuta el Videojuego es el encargado, en nuestro ejemplo, de establecer el diálogo entre el operador y el dispositivo de salida.

Como vemos, la idea de Gráficos Interactivos no nos es en absoluto ajena, y de alguna forma está presente de forma continua en nuestra vida cotidiana. Paradójicamente, el CAD/CAM, como tecnología operativa, es algo muy reciente y actual. Veamos cuál ha sido su desarrolo histórico.

Evolución del CAD/CAM

En el año 1950 apareció el primer dispositivo de visualización ("display") controlado por ordenador. Dicho dispositivo fue desarrollado en el M.I.T. (Massachussets Institute of Tecnology) y estaba manejado por uno de los primeros ordenadores, el Whirlwind-I. Este primer display controlado estaba constituido por un tubo de rayos catódicos o CRT (Cathode Ray Tube) similar al utilizado en los aparatos comerciales de televisión.

Durante los años cincuenta no se hicieron progresos dignos de mención en el terreno de los gráficos interactivos. La razón de esta aparente falta de interés estaba determinada por la inexistencia de ordenadores capaces de soportar este tipo de proceso. Por aquel entonces los ordenadores funcionaban en modo "Batch" (también denominado "proceso por lotes"), lo que impedía que un operador pudiese establecer un diálogo interactivo.

A finales de los años cincuenta comenzaron a desarrollarse ordenadores especializados en procesos interactivos; los ordenadores en cuestión eran los modelos TX-0 y TX-2, creados en el M.I.T. Con la aparición de estos ordenadores renació el interés por los gráficos interactivos. Sin embargo, el hito fundamental en este campo lo constituyó la presentación de la tesis doctoral de E. Sutherland en el año 1962. Su trabajo, titulado "Sketchpad": A Man-machine Graphics Communication System" estableció las bases de los gráficos interactivos por ordenador tal como los conocemos en la actualidad, y actuó como catapulta al convencer a importantes compañías de la potencia y rentabilidad económica de

la nueva tecnología. Como consecuencia, durante los años sesenta se iniciaron un conjunto de proyectos que comenzaron a salir a la luz pública en los años setenta.

Desde el punto de vista de su aplicación, los gráficos interactivos empiezan a existir en los setenta, si bien por aquel entonces requerían la existencia de complejos y costosos ordenadores. Esta inicial dificultad habría de ser solventada con el advenimiento de los micro y miniordenadores durante el final de la década, circunstancia que posibilitó el aprovechamiento industrial de la tecnología.

En la actualidad, la caída de precios del hardware y el aumento de potencia de los procesadores han permitido que el CAD/CAM entre de lleno en el mundo industrial. La eficacia alcanzada está por encima de cualquier especulación y supone un cambio cualitativo similar al sucedido durante los años sesenta en el terreno administrativo, aunque, evidentemente, con distintos protagonistas; ingenieros y diseñadores se sitúan como principales beneficiarios de la nueva adquisición tecnológica.

CAPITULO II

COMPOSICION DE LOS SISTEMAS DE CAD/CAM



emos asistido en el capítulo anterior al "nacimiento" de un nuevo término (CAD/CAM) y al somero anuncio de una "prometedora" tecnología. En el que ahora nos ocupa describiremos en profundidad los elementos que la integran, elementos que se adscribirán (como en cualquier otra tecnología informática) a las dos categorías básicas de:

A) Hardware. B) Software.

Sobre ellas precisamente, y con el fin de facilitar su comprensión, construiremos el presente capítulo.

El hardware

El hardware o, más exactamente, "los elementos hardware de una tecnología", constituyen el marco físico en el que se desarrolla ésta; a través de ellos se permite y facilita su uso por parte del usuario. En este sentido el primer paso para llegar a la comprensión de los elementos que integran el hardware no es otro que el de dar respuesta a dos preguntas fundamentales: cuál es el tipo de información a tratar y cuál el objetivo que se persigue.

En el caso del CAD/CAM los elementos de información son fundamentalmente de tipo geométrico y el objetivo que se persigue es el de facilitar el manejo de entidades geométricas tales como rectas, puntos, arcos, etc. Tradicionalmente, éste se ha realizado mediante los tableros de dibujo, que de una forma más o

menos sofisticada han sido ampliamente utilizados; en la nueva tecnología dichos tableros de dibujo son sustituidos por la ESTACION DE TRABAJO.

La Estación de Trabajo, también conocida con el acrónimo de sus iniciales inglesas WS (Work Station), consta de varios dispositivos que sirven para representar, seleccionar y dibujar entidades gráficas, y que se corresponden con los siguientes elementos:

REPRESENTACION	TERMINAL GRAFICA
SELECCION	LAPIZ OPTICO, MOUSE (RATON)
DIBUJO	TABLETA GRAFICO

Aparte de los elementos citados, todas las ET disponen de un teclado para poder dialogar con el ordenador. La operativa de la ET es en esencia la siguiente: El operador no hace sino "dibujar" sobre la tableta gráfica, con el lapiz o ratón, y el resultado le es mostrado en el terminal gráfico. Cada vez que el lápiz se mueve sobre la tableta gráfica el terminal muestra la posición en que se encuentra en relación con los dibujos en él representados. Si el operador "marca" una entidad (recta, punto...) ésta queda designada y sujeta a los comandos o acciones que el usuario decida (por ejemplo, borrar, mover, etc.). A lo largo de los capítulos siguientes iremos ampliando esta sucinta descripción.

Hemos sustituido al convencional tablero de dibujo por un nuevo elemento denominado ESTACION DE TRABAJO, siendo ésta la encargada de permitir al usuario el manejo de entidades geométricas así como de suministrar la información a un ordenador para su proceso y archivo.

Ahora que ya tenemos una idea clara del concepto de ET, vamos a analizar sus componentes, es decir; Terminal Gráfico, Tableta Digitalizadora, Lápiz, Ratón...

TERMINAL GRAFICO

Comencemos con el Terminal Gráfico. El TG es el equivalente en CAD/CAM a los monitores convencionales de los sistemas informáticos, con la salvedad de que en vez de representar información alfa-númerica representa información gráfica.

Debido a que la información gráfica puede concentrarse en áreas muy pequeñas es necesario que el TG posea una elevada definición; asimismo, y dado que existen aplicaciones que necesitan como medio de distinción de entidades el empleo del color, el terminal gráfico debe también contemplar esta posibilidad.

Estas características, así como la necesidad de tener TG de tamaños elevados, que permitan representar zonas suficientemente amplias de los diseños realizados, han motivado que los distintos fabricantes buscaran soluciones diferentes para conseguir las elevadas prestaciones que necesitan.

Aunque es un tema en permanente evolución podemos distinguir tres tipos de Terminales:

Terminales de refresco vectorial.

Estos terminales mantienen una memoria de los elementos a representar; básicamente mantienen las coordenadas de los puntos (vectores).

El Terminal hace que el movimiento del haz de electrones siga la trayectoria determinada por los vectores almacenados en su memoria. Teniendo en cuenta que la persistencia de la luminosidad del fósforo no es ilimitada, la imagen producida se estinguiría al cabo de un corto tiempo; es necesario, pues, refrescar la información, lo que se realiza mediante la repetición continua de la tabla de vectores.

Cuando el número de vectores almacenados es lo suficientemente elevado, el tiempo que ha de transcurrir antes del refresco

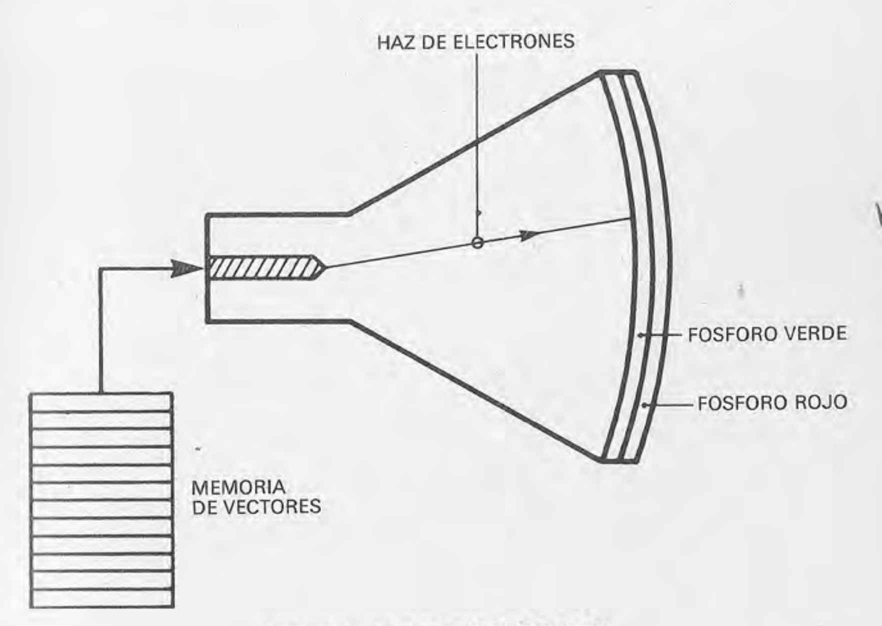


Figura 1.—Esquema de funcionamiento de un terminal de tipo vectorial.

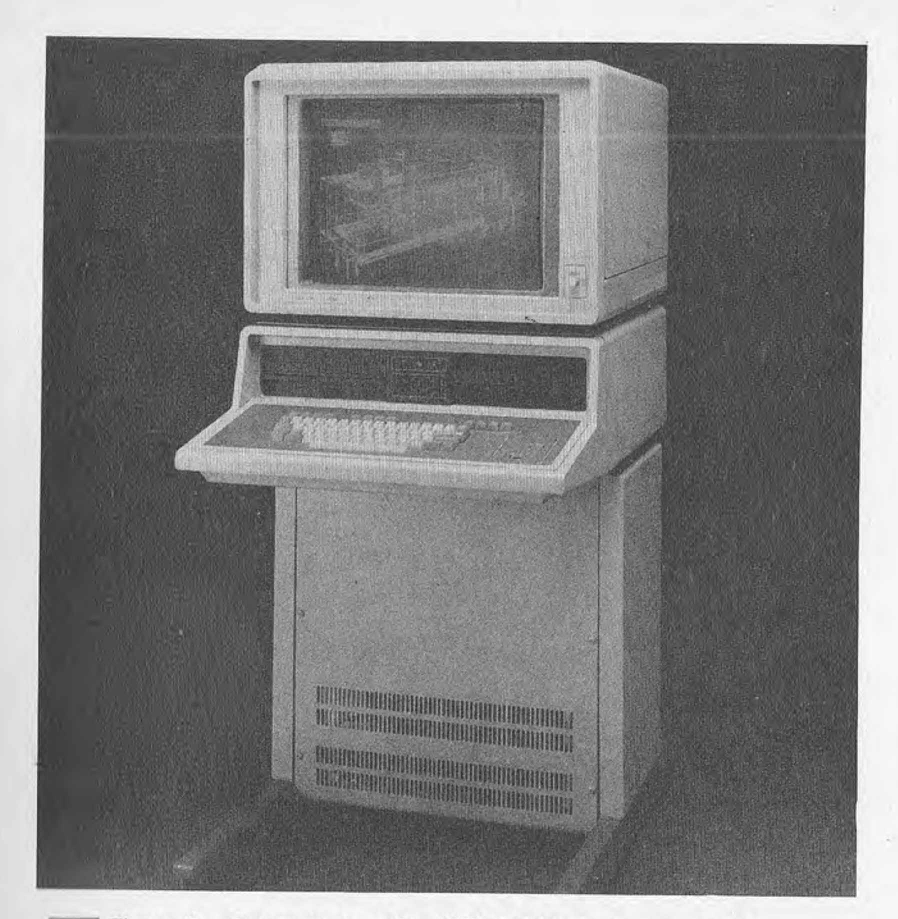


Figura 2.—El terminal gráfico TEK-4114B, de tipo vectorial.

provoca la aparición del parpadeo de la imagen o "flicking". Este tipo de terminal puede poseer color, aunque en una gama reducida; para ello se dispone de dos tipos de fósforo (verde y rojo) que pueden ser alcanzados o no por los electrones del haz en función de la energía de éstos, consiguiéndose así diferentes colores, aunque en número muy limitado.

Las características de este tipo de terminal son:

- Elevada resolución.
- Problemas de parpadeo.
- Limitada gama de colores.

Terminales de memoria vectorial

Este tipo de terminal contiene un cañón emisor de electrones de alta potencia denominado haz de escritura y dos haces de baja energía denominados de mantenimiento. El haz de escritura se mueve de acuerdo con los vectores a dibujar, de igual forma que en los tubos de refresco, pero sólo realiza esta operación una vez. Incide sobre un conjunto de dos capas: la primera, pegada a una rejilla metálica, está dedicada al almacenamiento de la información, mientras que la segunda está dedicada a la visualización de la misma. Al incidir el haz en la capa de almacenamiento se produce una emisión de electrones, quedando las zonas afectadas cargadas positivamente.

Por otra parte, los haces de mantenimiento (que funcionan permanentemente) pasan a través de aquellas zonas de la capa de almacenamiento que están cargadas positivamente, haciéndolos visibles una vez inciden en la capa de visualización. De esta forma se mantiene la imagen sin necesidad de ningún refresco; el borrado de la misma se realiza mediante la aplicación de una tensión positiva a la rejilla.

Este tipo de terminal tiene la posibilidad de conseguir color en dos tonalidades, siendo necesario, al igual que en el caso anterior, la utilización de refresco.

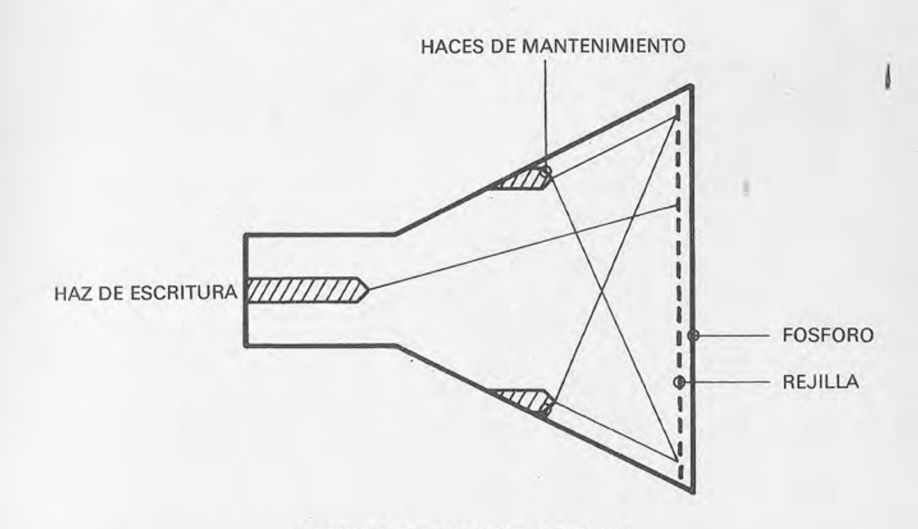


Figura 3.—Esquema de funcionamiento de un terminal de tipo vectorial de memoria.

Las principales características de este tipo de terminales son:

— Elevada resolución.
— Ausencia de parpadeo.
— Imposibilidad de realizar gráficos dinámicos.
— Reducida gama de colores.

Terminales de barrido

Este tipo de terminales, también conocidos con el nombre de TERMINALES DE TIPO RASTER o, simplemente, TERMINALES RASTER, es el más utilizado en la actualidad.

El tubo de visualización es un tubo convencional de rayos catódicos que contiene tres haces de electrones, uno para cada color fundamental (rojo, verde, azul...), además de una máscara para asegurar la convergencia de cada haz sobre una capa de fósforo compuesta por tríadas de puntos sensibles a cada uno de los haces.

La forma de refresco de este tipo de terminal es similar a la de los televisores convencionales: el haz recorre permanentemente la pantalla, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, y siempre en el mismo tiempo, con lo que se eliminan los problemas de parpadeo.

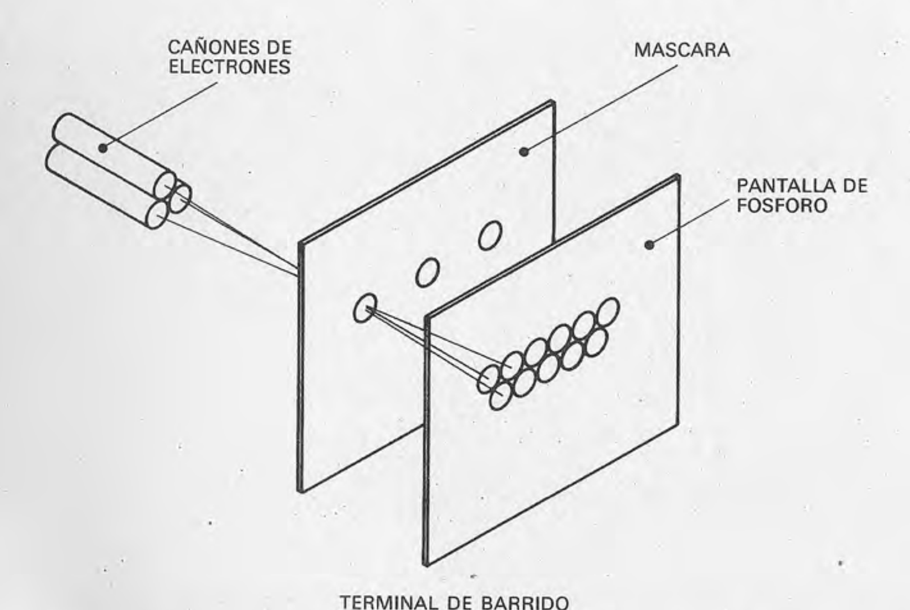


Figura 4.—Esquema de funcionamiento de un terminal de tipo "barrido" o "raster".

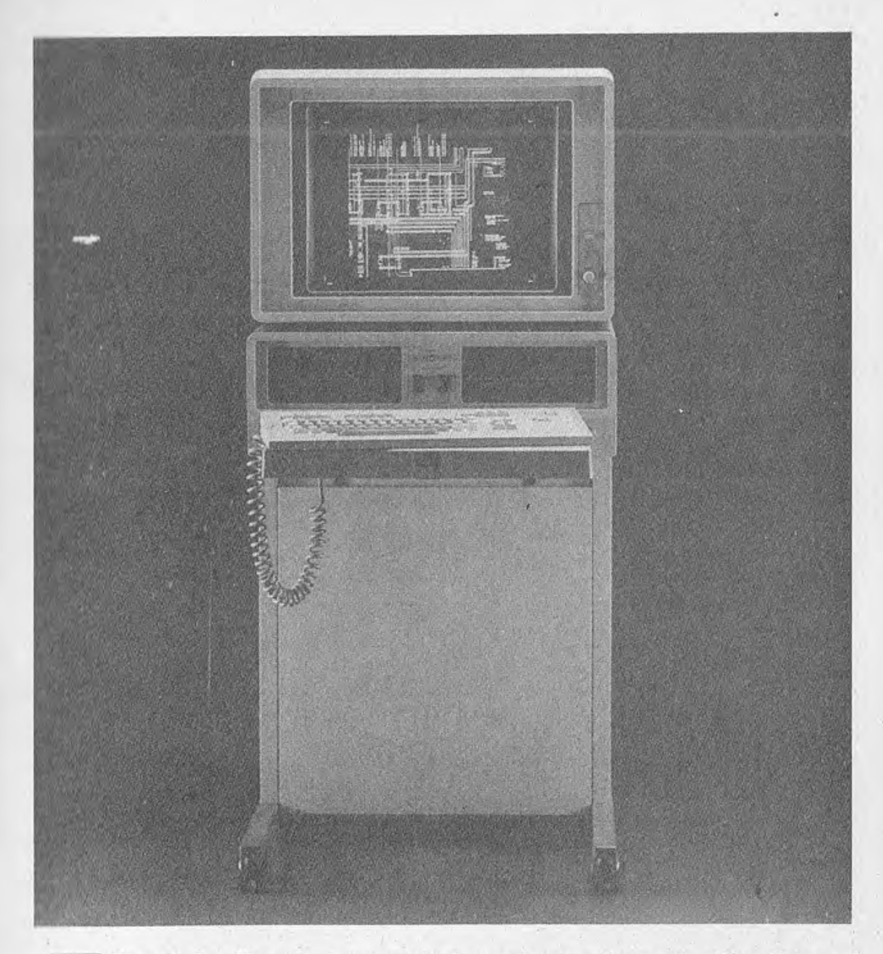


Figura 5.—Uno de los terminales más ampliamente difundidos: el TEK-4115, de tipo "raster".

La información representada en el barrido es permanentemente extraída de una zona de memoria denominada BIT-MAP, en la que se encuentra la representación de las entidades a visualizar.

La electrónica del terminal tiene un sistema mediante el cual traduce las entidades (líneas, arcos, puntos, etc) a una represen-

tación por puntos que se almacena en el el BIT-MAP. Esta información es visualizada en el terminal, que lee permanentemente esa zona de memoria. Cada zona de memoria que se corresponde con una línea horizontal de barrido es lo que se denomina raster, de modo que la imagen es la visualización de todos los raster en que podemos dividir el BIT-MAP.

En este tipo de terminal la información gráfica es convertida en un conjunto de puntos, a cada uno de los cuales denominamos Pixel (Picture Element), que el observador identifica con la entidad de que se trate.

Presenta dos grandes ventajas: la eliminación del flicking o parpadeo y la incorporación del color de forma completa, y un único inconveniente: su menor resolución, al estar ésta limitada por el número de tríadas que componen la pantalla de fósforo.

Como resumen de las características de los diferentes tipos de terminal, la tabla 1 nos proporciona algunos datos estándar.

TABLA 1

	Tamaño terminal	*Resolución*	*Colores*
Vectorial Refresco.	19"	1280 × 1024	2
Vectorial Memoria.	19"	4096 × 4096	2
Raster	19"	1280 × 1024	1024

ELEMENTOS DE DISEÑO

Una vez descritos los sistemas de representación constituidos por los Terminales Gráficos, pasaremos a los sistemas de selección y dibujo de entidades. Existen diferentes soluciones para este tipo de sistemas y algunas de ellas están relacionadas con el terminal gráfico utilizado. Así, por ejemplo, una solución ya en desuso, y que fue utilizada en el terminal gráfico IBM-3250, es el empleo del lápiz óptico, que permite elegir entidades directamente sobre la pantalla del terminal sin necesidad de utilizar tabletas gráficas.

En la actualidad, y con el advenimiento de los terminales raster, el lápiz óptico ha dejado de utilizarse, siendo sustituido por dos tipos de configuraciones: la formada por el empleo simultáneo de tableta gráfica y un elemento de selección (lápiz o cursor) y la constituida por un "mouse" o ratón.



Figura 6.—Una Estación de Trabajo histórica: la IBM-3250. Es un modelo de utilización de lápiz óptico.

La tableta gráfica es un dispositivo plano de forma rectangular, que se constituye para el operador como el elemento sobre el que dibujar entidades e interaccionar con la Estación de Trabajo.

Interiormente está constituido por un entramado de hilos metálicos distribuidos en dos sentidos y con capacidad para detectar la posición en que se encuentra el elemento de selección.

El elemento designador presenta diferentes aspectos, siendo los más normales la forma de lápiz y el denominado cursor (éste es el más utilizado); presenta uno o más pulsadores que el operador utiliza para lo que más adelante denominaremos "pinchar" (seleccionar) entidades.

La otra solución utilizada es el empleo de ratón. El ratón es un dispositivo de forma más o menos rectangular con un conjunto de pulsadores, generalmente tres, en su parte superiror.

El mecanismo interno varía según el fabricante, pero en cualquier caso se basa en la capacidad de detectar el desplazamiento

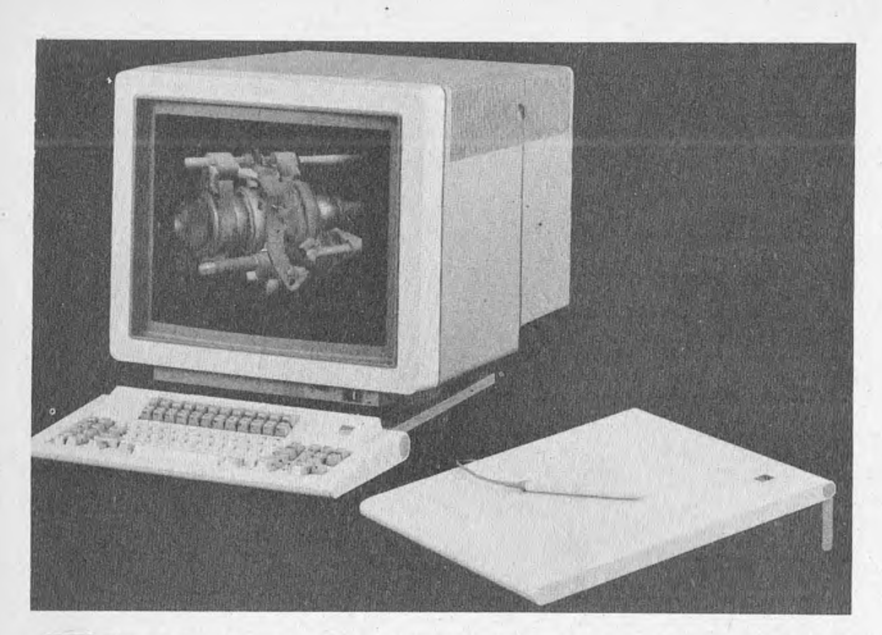


Figura 7.—Un ejemplo de Estación de Trabajo moderna: la IBM-5080.

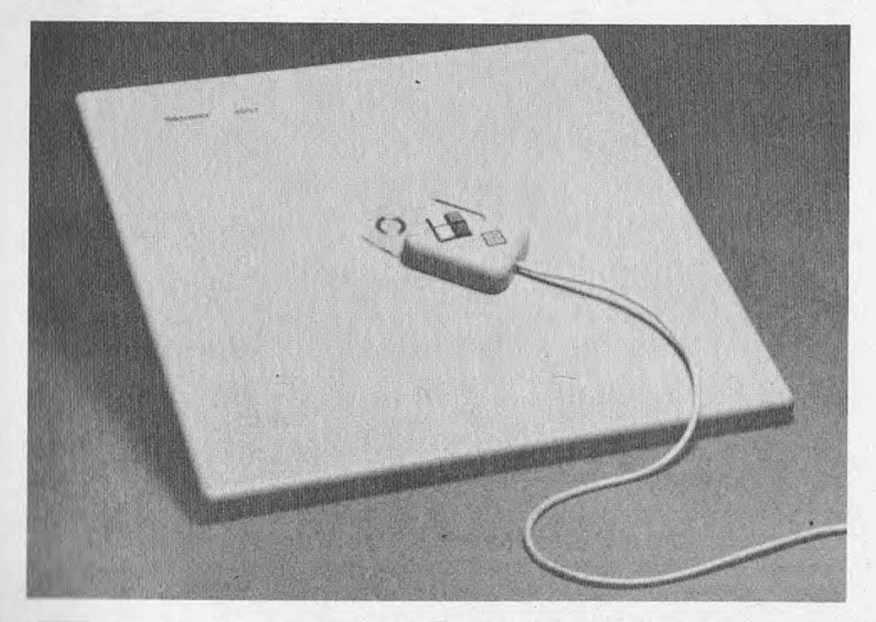


Figura 8.—Conjunto de tableta gráfica y cursor (TEK-4957).

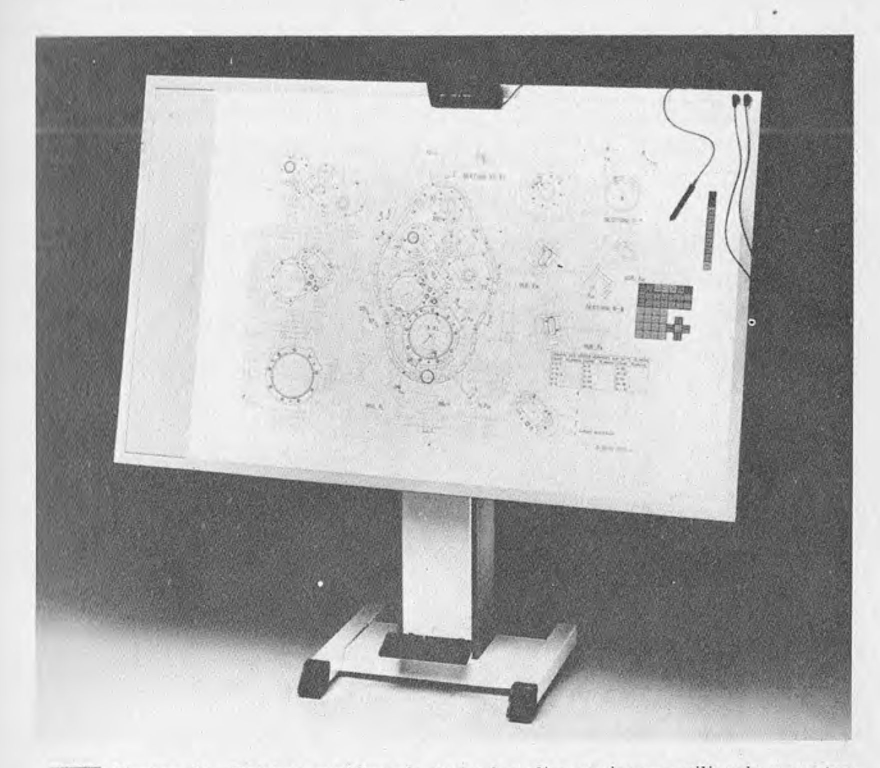


Figura 9.—Tableta gráfica de grandes dimensiones utilizada para trabajos de digitalización (Benson 63001).

del ratón en un plano. Debido a esta característica el ratón no necesita de tableta gráfica, ya que sus movimientos siempre son relativos a la última posición alcanzada por deslizamiento.

El empleo de una de las soluciones descritas depende del tipo de comunicación que el diseñador del software contemple, siendo esta característica —la comunicación hombre-máquina— una de las principales a tener en cuenta en la evaluación de un sistema de CAD/CAM.

SISTEMAS DE REPRODUCCION IMPRESA

Aparte del elemento característico de la tecnología CAD/CAM (la Estación de Trabajo) existen otros que, si bien no son exclusivos de esta tecnología, son profusamente utilizados. Nos referimos concretamente a los sistemas de representación

gráfica en papel que se utuilizan para la reproducción de planos y bocetos en las diferentes fases del diseño.

Existen dos tipos de dispositivos claramente diferenciados como son los PLOTTER y los HARD-COPY.

Comenzaremos por estos últimos por ser los más simples. El hardcopy es un dispositivo especializado en la producción de copias en papel de la información contenida en el terminal gráfico. Su funcionamiento —ciñéndonos a terminales raster— está basado en la lectura del BIT-MAP del terminal y su traducción en puntos de diferentes colores se lleva a cabo de igual forma a como trabaja una impresora.

La producción de los diferentes colores es uno de los principales problemas con los que se enfrentan los hard-copy, existiendo diferentes tecnologías; la más extendida es la denominada "jet-ink", que consiste en la proyección sobre el papel de chorros de tinta de los tres colores fundamentales.

La ventaja de los hard-copies es su rapidez en la producción de los gráficos, y su principal inconveniente, la baja resolución de los gráficos producidos.

El elemento principal, y que sin duda nunca falta en una instalación CAD/CAM es el denominado plotter. El plotter es el elemento encargado de la reproducción de los planos de diseño y fabricación.

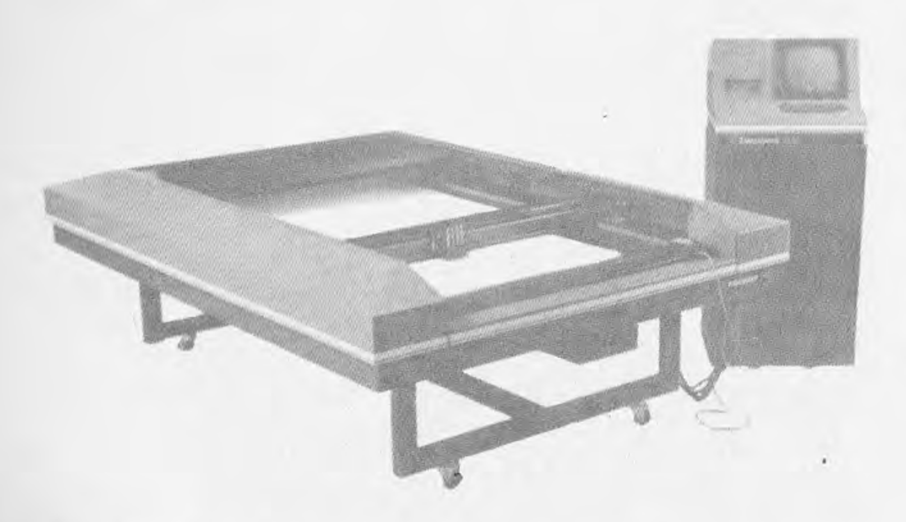


Figura 10.—Ejemplo de un plotter de mesa de tipo vectorial (Cortesía Benson).

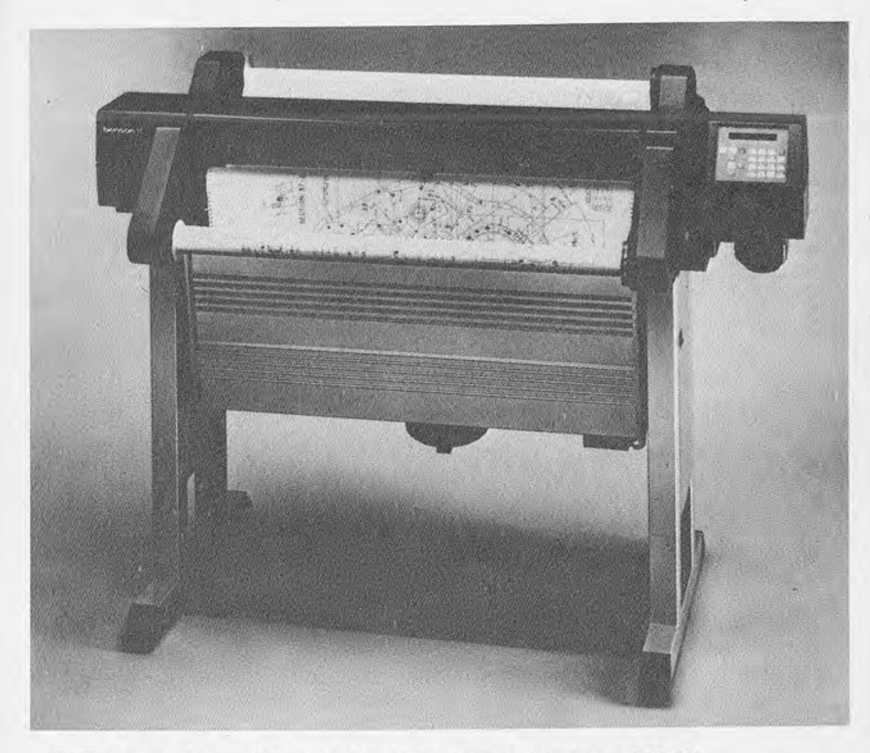


Figura 11.—Plotter vectorial de rodillo (Benson-1645R).

Existen dos tipos de plotter:

- Los vectoriales o de plumas;
- los electrostáticos o raster.

Los vectoriales constan de un cabezal dotado de una o varias plumas que se desplaza en todas direcciones sobre el papel, produciéndose de esta forma el dibujo.

Existen dos configuraciones principales: el denominado plotter de mesa y el plotter de rodillo. En los primeros el papel se sitúa en una mesa plana sobre la que se desplazan las plumas, mientras que en el de rodillo el papel se encuentra enrollado en un cilindro y las plumillas se desplazan longitudinalmente; la combinación del movimiento giratorio del cilindro y el longitudinal de las plumas permiten la realización de cualquier movimiento en las dos dimensiones del plano.

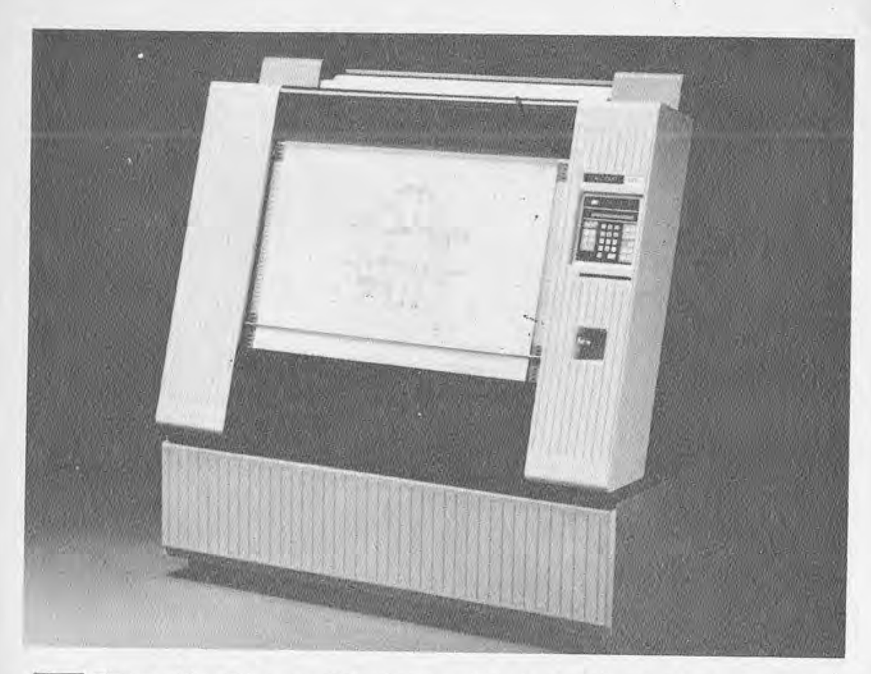


Figura 12.—Otra posible disposición de un plotter de rodillo (Cortesía CALCOMP).

Se denominan vectoriales porque el movimiento de las plumas sobre el papel viene determinado por las coordenadas de los puntos (vectores) que configuran el gráfico a dibujar, siendo, como vemos, su fundamento muy parecido a los terminales gráficos vectoriales anteriormente descritos.

Si los plotters vectoriales se parecían a los terminales de igual nombre, lo mismo va a ocurrir con el caso de los plotters electrostáticos o raster. Su fundamento consiste en la conversión de los vectores que determinan los gráficos a un conjunto de tiras o rasters, de igual forma a como ocurría en los terminales de barrido. Una vez hemos pasado, mediante una operación denominada rasterización, del gráfico a su representación en rasters, éstos son impresos, mediante un dispositivo consistente en un peine que crea una carga electrostática en aquellos puntos del raster donde debemos dibujar un punto.

El papel cargado pasa a través de una zona de polvo de carbón, produciéndose en las zonas cargadas la atracción del mismo. A continuación el polvo es fijado al papel mediante un tratamiento térmico. La ventaja fundamental de este tipo de plotters es su



Figura 13.—Aspecto externo de un plotter de tipo electrostático.

gran velocidad, así como su capacidad para rellenar de áreas, operación dificultosa en los plotters vectoriales.

El inconveniente principal, aparte de su precio, es el tiempo que es necesario invertir en el proceso de rasterización por parte del ordenador. Debido a este problema es bastante común la utilización de ordenadores específicos para la realización de la rasterización, liberando al principal de esta costosa tarea.

Hasta aquí hemos descrito los elementos hardware propios de la tecnología CAD/CAM; sin embargo, la mayoría de estos elementos, aun contando con una cierta inteligencia —y la tendencia es a aumentarla—, no son sino nuevos periféricos. Es necesario que el sistema CAD/CAM posea un dispositivo informático en donde puedan correr las aplicaciones que configurarán el sistema.

La disposicición general de un sistema CAD/CAM estará constituida por un ordenador, con su almacenamiento en disco, y un conjunto de líneas de comunicación de donde "colgarán" las distintas Estaciones de Trabajo, los plotters y las pantallas alfanuméricas que, sin duda, existirán.

El ordenador, que es el verdadero soporte sobre el que se ejecutará el software específico del CAD/CAM y que es responsable de la gestión del sistema y del archivo de los ficheros, es lo que se denomina "host"

El tipo de procesador de cada host varía con las diferentes configuraciones de los sistemas CAD/CAM, pudiendo llegar a ocurrir, como caso extremo, que el host sea la propia Estación de Trabajo.

El software

Si bien en todas las tecnologías informáticas hasta el momento existente es el software el elemento más creativo y atrayente, la espectacularidad que se consigue en el caso del CAD/CAM alcanza cotas difícilmente superables.

El tipo de información a tratar y sus implicaciones en el proceso de producción hacen que el software del CAD/CAM se adelante definitivamente al hardware, hasta el punto de que muchos usuarios se refieren al CAD/CAM haciendo mención exclusiva a particulares paquetes de aplicación.

Comentábamos al comienzo del libro que quizás la cualidad más acusada de la información utilizada en los sistemas de CAD/CAM era su elevado número de grados de libertad. Esto puede parecer sólo una frase vacía, pero ¿no es cierto que al lector se le ocurrirían bastantes formas de representar un cubo? Pues bien, a todas esas formas imaginables es a lo que nos referimos. Es esa riqueza de representaciones posibles de la información gráfica, objetivo del CAD/CAM, la que conlleva la preponderancia que el software posee sobre el hardware en esta tecnología.

Antes de introducirnos en el mundo del software deseamos precisar que el CAD/CAM, o más concretamente el CAD, no es un producto que intente generar gráficos, sino elementos geométricos. No debe confundirse la visualización de los gráficos en el terminal, con el concepto geométrico que dicha distribución posee.

Así puede ocurrir que un conjunto de puntos de un Terminal Gráfico, en disposición más o menos alineada, sea la representación de un elemento geométrico (una recta) o simplemente se trate de pixels sin información geométrica asociada. El CAD trata, por tanto, de construir geometría y no simplemente gráficos; la visualización de esta geometría será un subproducto del CAD, pero en modo alguno es su objetivo.

Hecha esta aclaración estamos en condiciones de introducirnos en el software del CAD/CAM; para ello vamos a ir mostrando sus elementos en la medida que vayan siendo necesarios a nuestros propósitos.

LAS ENTIDADES

Una primera necesidad podría ser la realización de diseños geométricos en dos dimensiones; esta simplificación nos va a permitir comenzar a definir las necesidades del sofware sin necesidad de complicaciones con el manejo de una tercera dimensión que nos resulta de difícil representación.

Si observamos el trabajo cotidiano de un diseñador, vemos que se sirve para su realización de instrumentos sencillos como son reglas, escuadras, compases, etc. Nosotros vamos a crear unos objetos que denominaremos ENTIDADES y que van a constituir nuestros elementos fundamentales de trabajo, de manera que cualquier diseño esté compuesto por las entidades definidas. De acuerdo con lo expuesto, las entidades elementales serán elementos geométricos, como por ejemplo:

- Puntos
- Rectas
- Arcos

Pese a la simplicidad de las entidades definidas, éstas pueden ser determinadas de diferentes formas, a saber:

- Punto fijado por posición en pantalla.
- Punto determinado por coordenadas.
- Punto determinado por sus coordenadas relativas a un punto.
- Recta entre dos puntos.
- Recta que pasa por un punto con una pendiente fija.
- Arco determinado por su centro, radio y ángulo.
- Arco determinado por tres puntos.

Como vemos, estamos creando un conjunto de requerimientos que nuestro sistema contemplará como comandos. Naturalmente que pueden existir muchas más entidades y formas de invocarlas, pero no tratamos de agotar el tema, sino de interesar al lector en su construcción.

Ahora debemos contemplar operaciones que se pueden realizar con las entidades creadas; de hecho ya hemos realizado algunas: por ejemplo, para la definición de una recta hemos hablado de los puntos que la determinan.

Podemos considerar también operaciones como:

- Intersección de entidades.
- Borrado de entidades.
- Definición de radios de acuerdo entre entidades que se cortan.

- Borrado parcial de entidades. Por ejemplo, suprimir parte de una recta a un lado del punto de intersección con otra entidad.

Y algunas más que de seguro al lector se le ocurrirán. Todas estas formas de generar o modificar entidades (y las que en determinada aplicación se puedan solicitar) son incluidas en la aplicación como comandos que podrán ser invocados por el operador de dos formas:

- Por teclado
- Por digitación en la tableta gráfica.

Esta última forma es la más normal y cómoda para el usuario y está incorporada en todos los paquetes de CAD/CAM.

SPLINES CUBICOS Y CURVAS DE BEZIER

Es fácil comprobar el elevado número de dibujos geométricos que podríamos realizar con el marco hasta ahora descrito. Sin embargo, también a veces los delineantes tienen que utilizar la plantilla de curvas. Pues bien, aparte de las entidades creadas y de algunas otras como elipses, parábolas e hipérboles, es necesario poseer unas entidades equivalentes a las creadas por la plantilla de curvas. Estas entidades son las que denominamos splines cúbicos y curvas de Bezier.

Los splines cúbicos son curvas formadas por combinaciones de polinomios de grado tres, de ahí su nombre, que tienen la propiedad de pasar por los puntos que las determinan y que son continuas en la segunda derivada. Esta última propiedad puede parecer rara, pero simplemente significa que la curva spline no presenta picos, es decir, que su perfil puede ser considerado liso.

Las curvas de Bezier se encuentran determinadas por un conjunto de puntos denominados de control ($P_1 ... P_n$) y cuentan con las siguientes características:

- La curva de Bezier pasa por los puntos P_1 y P_n sin pasar por los intermedios.
- La forma de la curva de Bezier es "parecida" a la forma de la poligonal que une los distintos puntos de control.
- La curva es tangente en P_1 y P_n a las líneas determinadas por los puntos P_2-P_1 y P_{n-1}-P_n.
- La curva tiene un comportamiento "global". Esto significa que cualquier modificación de un punto afecta a toda la curva; esta característica la distingue de los splines cúbicos.

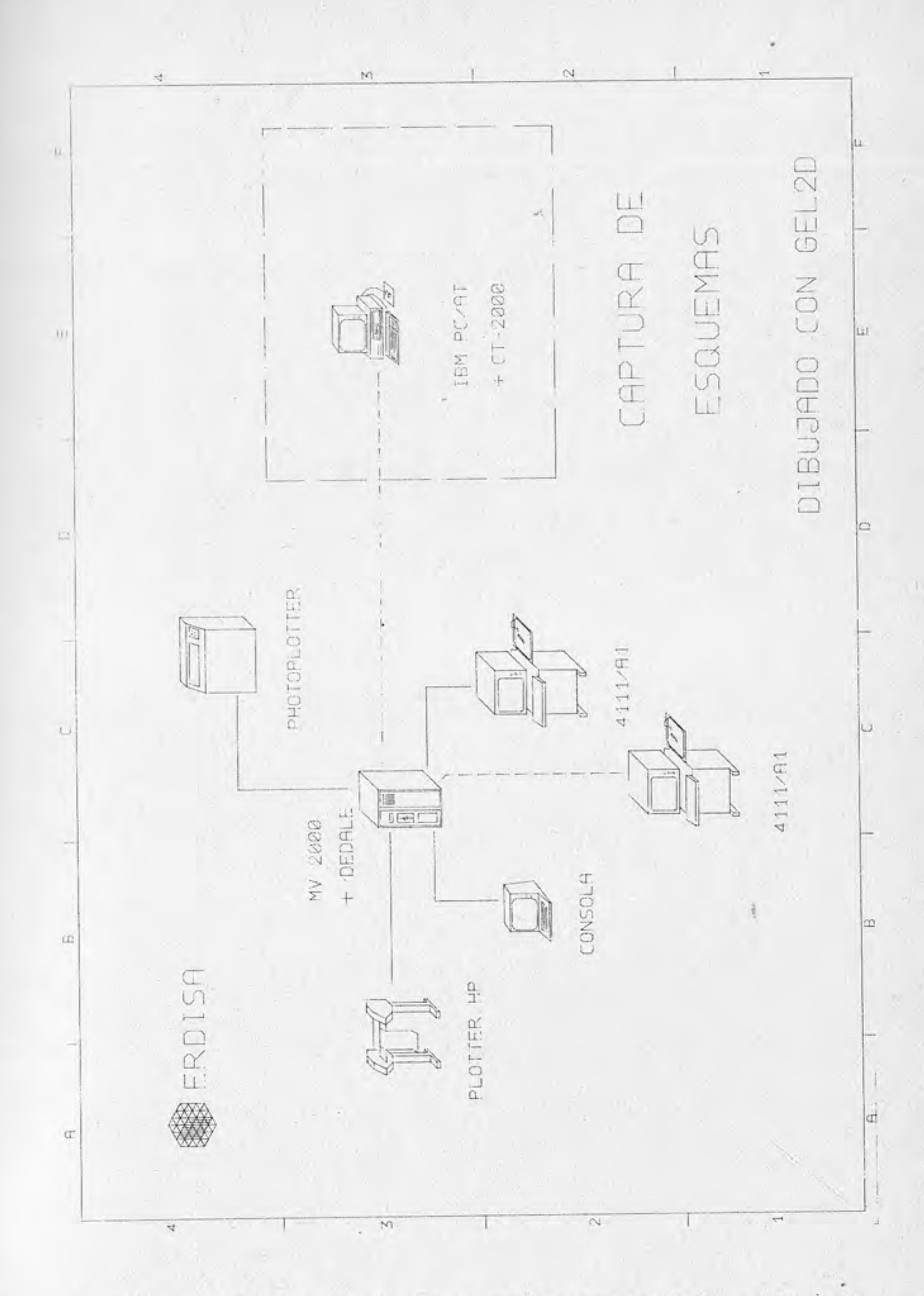


Figura 14.—Ejemplo de dibujo creado con entidades elementales tipo líneas y arcos (Cortesía ERDISA).



Figura 15.—Ejemplo de una curva tipo "spline". Se puede observar cómo pasa por todos los puntos que la definen.

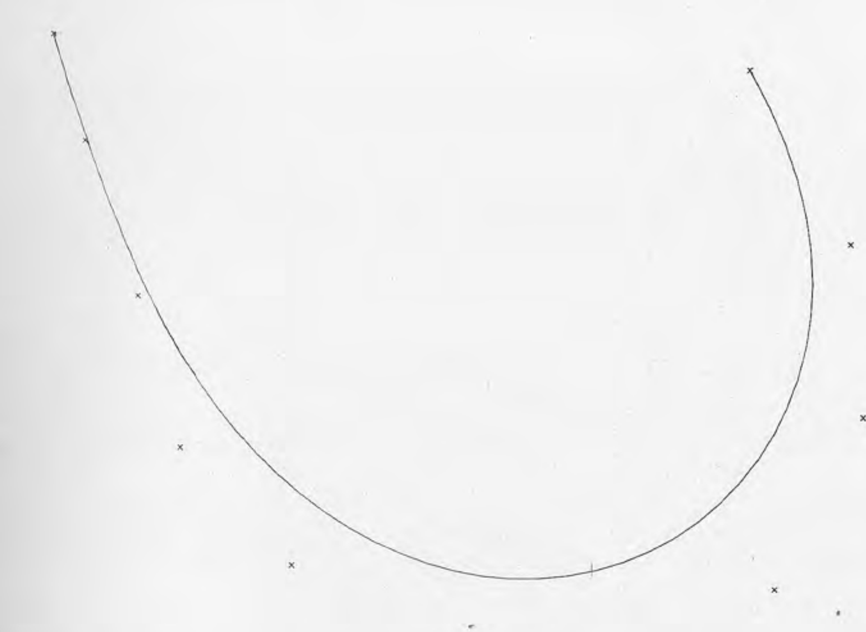


Figura 16.—Curva de Bezier.

Probablemente esta última definición haya dejado perplejo a algún que otro lector. Por ello vamos a dar una imagen real de una curva de Bezier.

Imaginemos un conjunto de puntos en el plano que supondremos representados por una serie de clavos fijados a una plancha. Nuestra curva de Bezier va a venir representada por la forma que adopte un fleje metálico elástico cuando es sometido al siguiente experimento:

- Se fija el fleje a dos puntos del conjunto, que llamamos "extremos", obligándole a pasar por ellos.
- Se atan al resto de los puntos un conjunto de hilos que, a su vez, se atan en su extremo libre al fleje.
- Se tensan todos los hilos de forma uniforme y procurando que al final todos queden muy tensos (evidentemente, esto no es una definición, sino simplemente una analogía física).
- El aspecto tomado por el fleje una vez realizadas las operaciones descritas se asemeja bastante a la curva de Bezier formada por el conjunto de puntos y, como el lector puede comprobar, verifica las propiedades de la definición.

Con la introducción de estos dos tipos de entidades hemos conseguido la consolidación de un conjunto de operaciones que nos permiten realizar gran número de gráficos en dos dimensiones. Se puede, ciertamente, aumentar el número de entidades o, más precisamente, la forma de producirlas, como por ejemplo:

- Punto central de un arco dado.
- Recta que pasa por un punto perpendicular a otra.
- Arco tangente a tres rectas dadas.
- Recta por un punto tangente a una curva.

Una vez completada esta lista, la aplicación quedaría terminada en cuanto a su estructura de comandos se refiere.

Todos los comandos hasta ahora descritos tenían como misión crear o modificar entidades; sin embargo, es necesario proveer al usuario de comandos que faciliten el manejo gráfico de las entidades que visualiza en el terminal. Estos comandos, que describiremos en otro capítulo, permitirán al operador visualizar diferentes zonas del modelo y ampliar o disminuir detalles del mismo.

LA REALIDAD TRIDIMENSIONAL

Con estas facilidades quedaría completo el diseño de la aplicación en lo que a la comunicación con el usuario se refiere. Te-

nemos ahora que pensar cómo funcionará interiormente la aplicación.

Para ello es preciso volver a separar dos aspectos:

- El contenido geométrico de las entidades.
- Su visualización gráfica.

El primero lo conseguimos mediante una adecuada codificación de la entidad, que incluirá un conjunto de parámetros geométricos necesarios para su identificación. Así, por ejemplo, una posibilidad sería asociar un código de entidad y un conjunto de parámetros numéricos cuyo número variaría según el caso para cada tipo.

Como muestra de lo dicho, en el caso del arco de circunferencia el conjunto de parámetros podría ser: su centro, su radio, el ángulo inicial y el ángulo final. Las entidades así codificadas son guardadas en un fichero que contiene toda la información geométrica del modelo y permite su reproducción.

El aspecto gráfico funciona de modo independiente, ya que para el Terminal Gráfico no existen elementos geométricos, sino, simplemente, pixels. El software se encarga de establecer la comunicación entre las entidades geométricas codificadas y archivadas y su representación gráfica.

El marco descrito funcionaría perfectamente dentro de las restricciones realizadas, es decir, ciñéndonos a un espacio de dos dimensiones; sin embargo, vamos a intentar dar el salto y pasar a nuestro mundo real, a un universo de tres dimensiones.

El problema no es nada simple por dos razones. La primera es la necesidad de tratar con entidades geométricas de gran complejidad, como son las superficies y volúmenes, y la segunda es la dificultad de la representación gráfica. En este sentido conviene poner de manifiesto que, si bien no existe dificultad alguna desde un punto de vista teórico para el tratamiento de entidades geométricas complejas —como las superficies—, es indudable que los Terminales Gráficos siguen mostrando su información de una forma bidimensional; este problema, que no se planteaba en el caso del trabajo en el plano, se constituye ahora en una importante dificultad.

Como sabemos, todo objeto de nuestro mundo tridimensional es un cuerpo sólido y el problema a resolver es cómo podemos describirlo. Por supuesto, damos por sentado que todas las entidades geométricas definidas en el ejemplo de dos dimensiones son de aplicación inmediata al nuevo espacio. La incorporación de la nueva dimensión no supone, desde el punto de vista de software, ningún trauma, siempre que tratemos con entidades esencialmente bidimensionales.

REPRESENTACIONES TRIDIMENSIONALES

De la realidad tridimensional podemos establecer tres tipos de representación:

1. Una representación aproximada del objeto, formada por elementos tipo línea.
2. Una representación que nos da información de las fronteras que definen el objeto.
3. Una representación completa que establece qué puntos del espacio pertenecen o no al objeto.

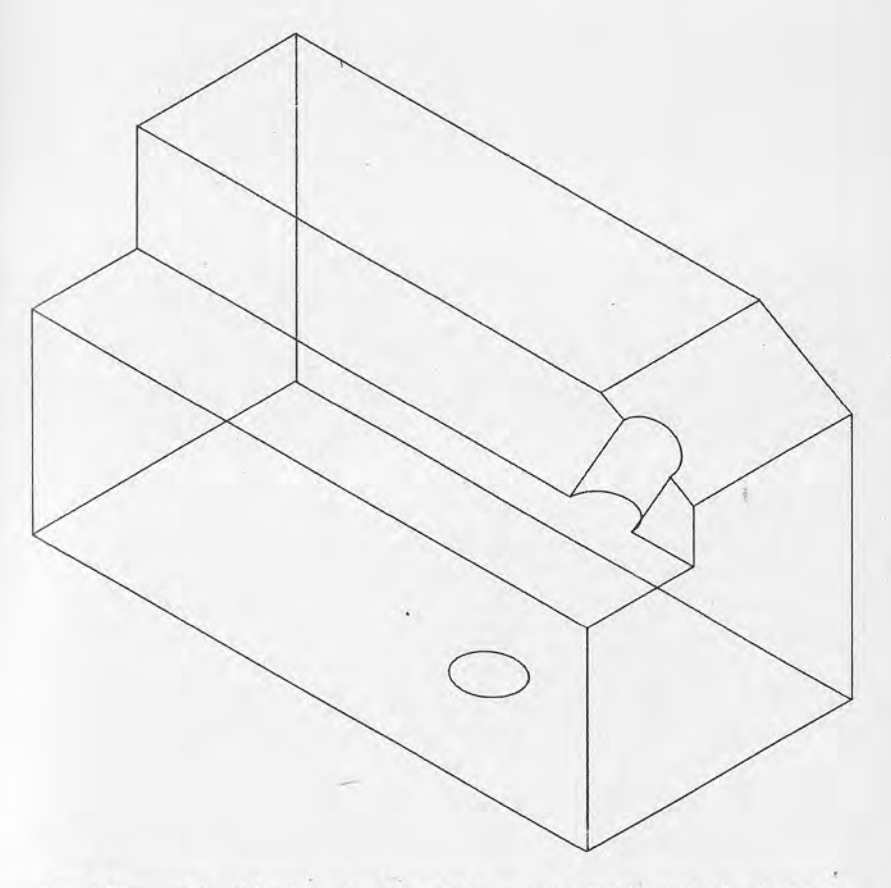


Figura 17.—Objetos representados en modelo de jaula de alambres.

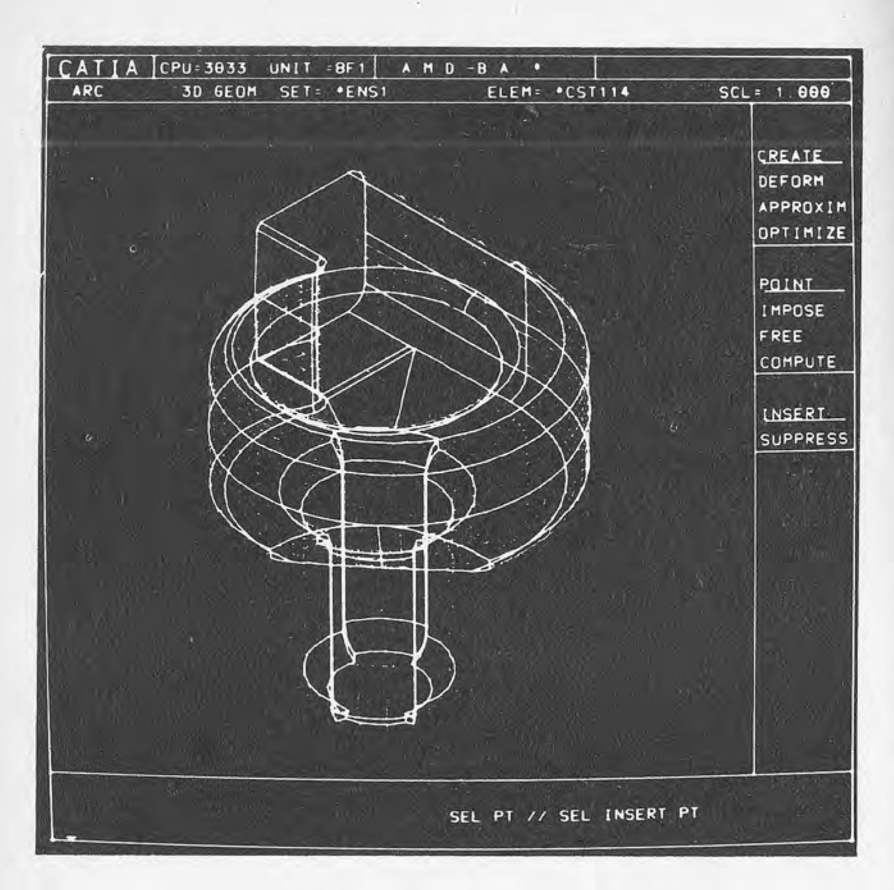


Figura 17.—Continuación.

Estas representaciones son las que actualmente se utilizan para describir los objetos tridimensionales, denominándose:

1. Modelo o representación en jaula de alambres o "wireframe".
2. Modelo o representación de superficies.
3. Modelo sólido.

Vamos a describir detalladamente en qué consisten y las propiedades que posean cada una de ellas.

Modelo en jaula de alambres.

Es el más simple y extendido, en razón de esta misma simplicidad. La representación del sólido se realiza mediante un conjunto de líneas; las líneas utilizadas pueden ser las aristas entre caras o, en el caso en que el sólido no presente aristas, un conjunto de líneas trazadas sobre su superficie que permitan al observador imaginar la forma del sólido representado.

Como vemos, esta representación surge de forma natural de las entidades definidas en el ejemplo bidimensional y, como ocurría en aquel caso, su coste computacional es muy pequeño, por lo que resulta de muy fácil implantación en la mayoría de los sistemas hardware.

A continuación resumimos sus principales inconvenientes:

- Es un sistema de representación ambiguo, es decir, existe más de un sólido con igual representación.
- No permite la eliminación de líneas ocultas.
- No permite extraer ningún tipo de propiedad del sólido (volumen, centro de gravedad, momentos de inercia).

Modelo de superficies.

Nos define el objeto mediante las superficies que lo determinan; podríamos decir que nos proporciona la "piel del objeto". Evidentemente, para la utilización de este tipo de modelo es necesario ampliar el conjunto de entidades, introduciendo las de tipo superfice.

Dentro del conjunto de entidades de tipo superficie podemos contemplar superficies tan sencillas como el plano, la esfera y las superficies cuádricas, o generar superficies tan complejas como las de Bezier. Este último tipo de superficies permiten la modelización de objetos muy complejos mediante lo que se denominan "patches", que podríamos definir como trozos de superficies que, convenientemente empalmados, constituyen el modelo.

Aparte de la definición de las entidades "superficie", debemos contemplar la existencia de operaciones como:

- Intersección de superficies.
- Proyección de una superficie sobre otra.
- Superficie de acuerdo entre dos superficies.
- Generación de superficies mediante barrido de un perfil (Sweep).
- Generación de superficies de revolución.

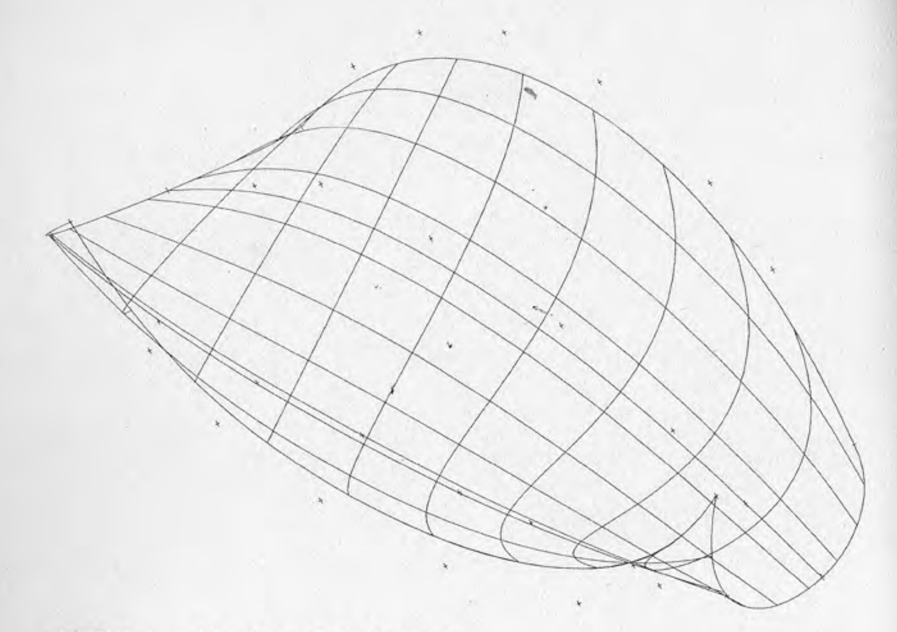


Figura 18.—Superficie de Bezier.

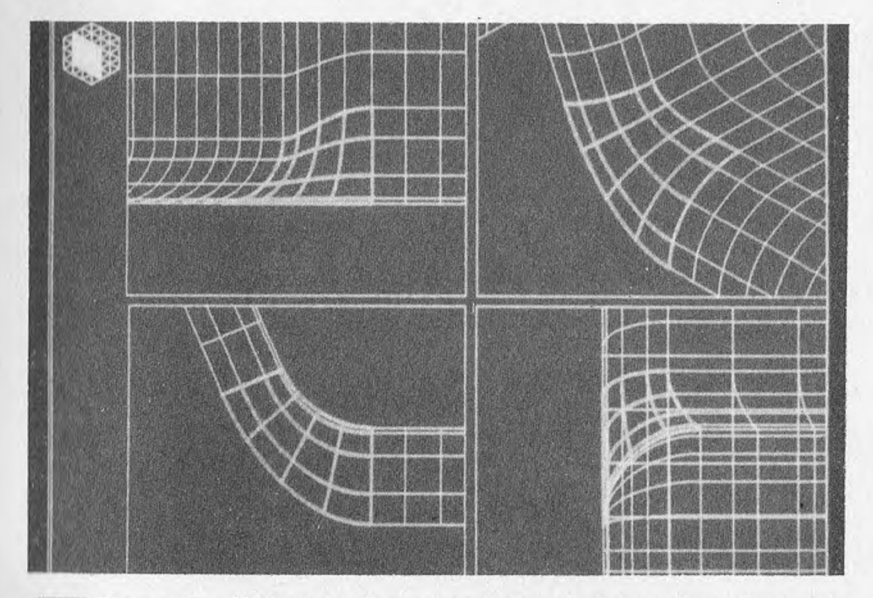


Figura 19.—Utilización de una superfice de Bezier para obtener la unión entre varias superficies.

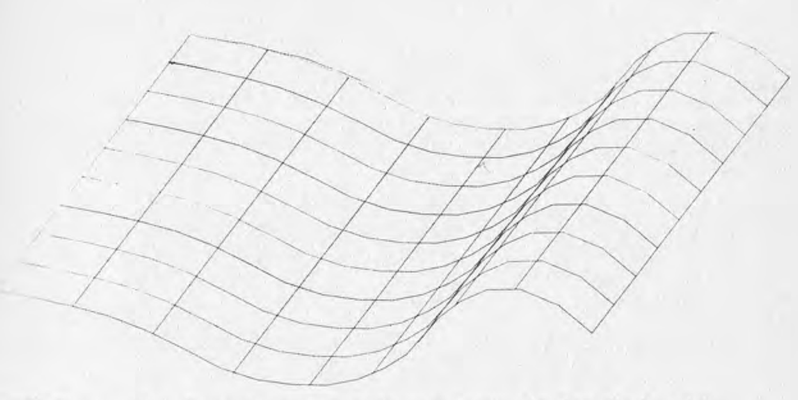


Figura 20.—Superficie obtenida mediante técnica de barrido.

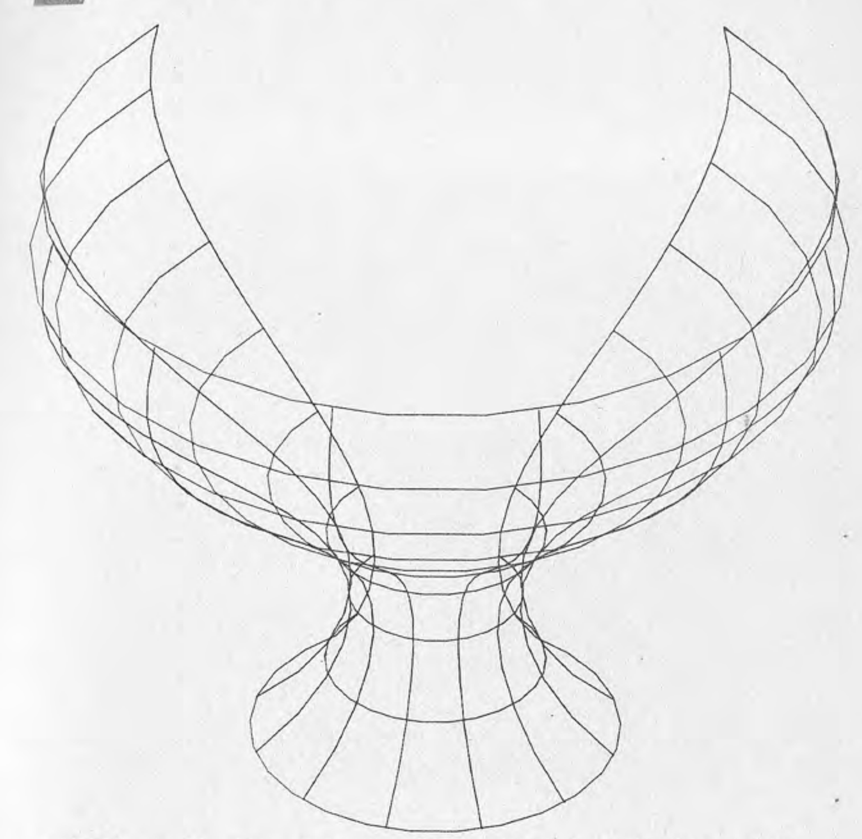


Figura 21.—Superficie obtenida mediante rotación de un perfil.

En particular, estas dos últimas posibilidades permiten la definición de superficies complejas mediante un procedimiento sencillo.

Desde el punto de vista de visualización gráfica, los sistemas de CAD/CAM contemplan dos posibilidades de representar las superficies:

1. Por su borde y un conjunto de líneas isoparamétricas según los ejes de coordenadas locales. Esta técnica es la más extendida y desde el punto de vista del observador, en nada se diferencia del modelo de alambres. Es de notar que, al estar definida de la ecuación de la superficie, el sistema posee la suficiente información para la posible eliminación de las líneas ocultas, aunque no sea ésta una característica extendida.
2. Mediante una técnica de sombreado. Admite diferentes soluciones, aunque la más extendida consiste en aproximar la superficie por un conjunto de facetas planas y simular la iluminación por una fuente situada en un punto del espa-

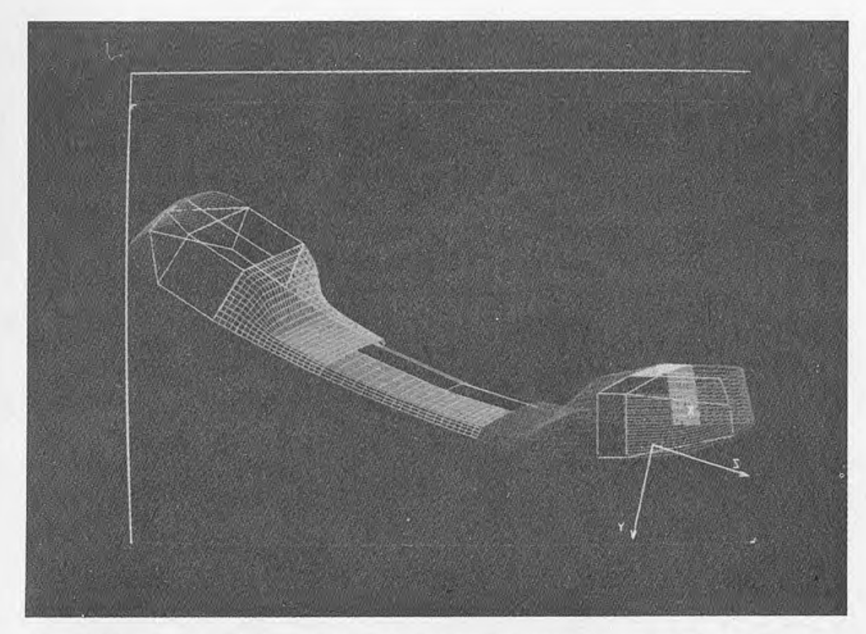
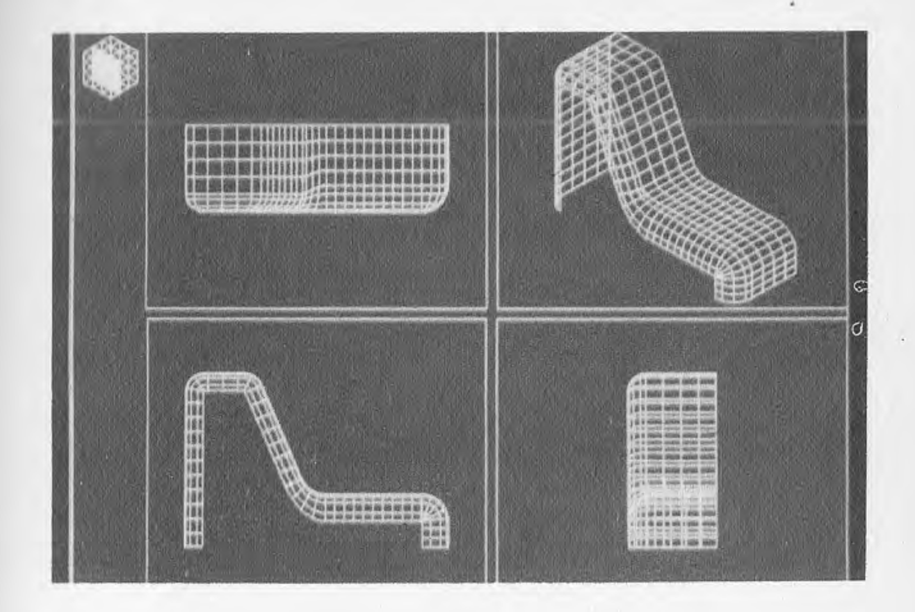


Figura 22.—Representación por superficies de un teléfono. Observe cómo la representación visual no se distingue de la proporcionada por los modelos de alambres (Cortesía Control Data).



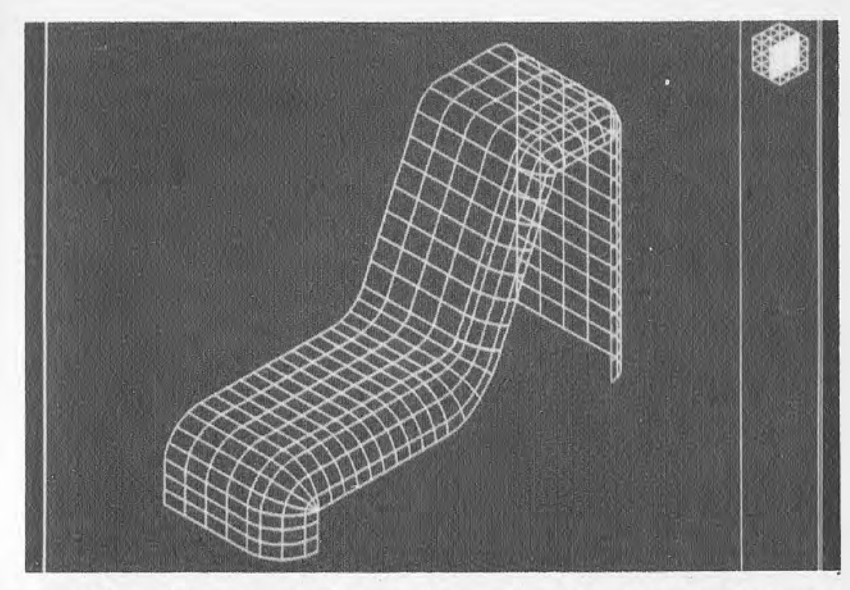


Figura 23.—Modelos de superficies de un objeto tal y como aparece en la pantalla del terminal (Cortesía de ERDISA).

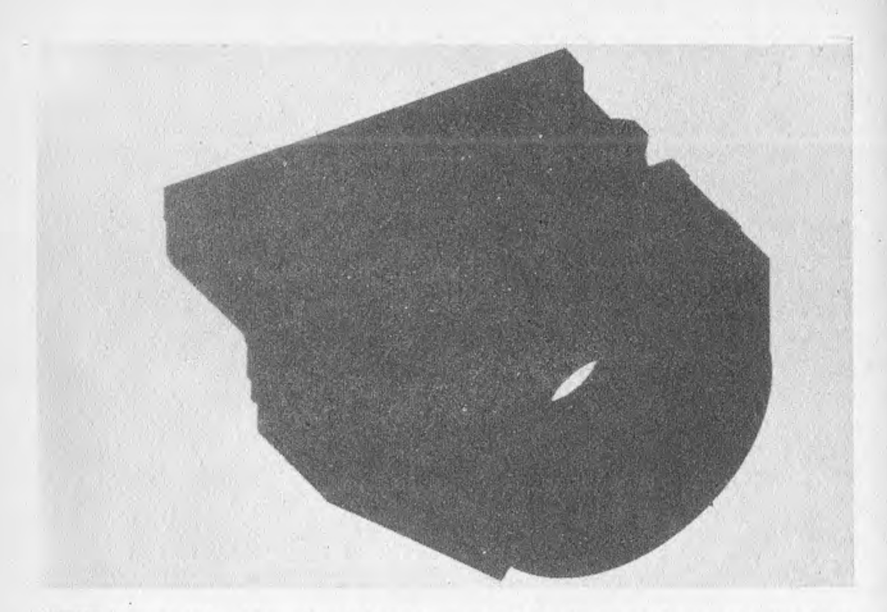


Figura 24.—Visualización de un modelo de superficies mediante la técnica de sombreado (Cortesía Intergraph).

cio. La cantidad de luz reflejada, que se mide por la inclinación de las facetas, se traduce en gradaciones de color en una determinada escala. Este tipo de representación elimina las líneas ocultas y da una visión muy real y espectacular del objeto modelado —que prácticamente no se distingue de la proporcionada por modelado sólido—, si bien no es utilizada con frecuencia dado el consumo de recursos del ordenador que comporta.

Resumimos a continuación las principales características de la representación por superficies:

- Permite establecer con precisión los puntos del contorno del objeto, siendo esta característica la que la convierte en especialmente útil para la fabricación por Control Mumérico.
- Con ella es posible la eliminación de líneas ocultas.
- No permite extraer propiedades de tipo físico, al no tener información de los puntos que pertenecen al objeto.

Modelo sólido.

Finalmente, el último tipo de representación y el más completo es el denominado modelo sólido, que trata de establecer cuándo un punto del espacio pertenece o no al objeto.

Con esta idea se han desarrollado hasta ahora tres tipos de métodos para la representación completa de sólidos, que son:

- Método de las Primitivas.
- Método de las Fronteras.
- Método Octree.

El método de las Primitivas, también conocido como C.S.G. (iniciales inglesas que corresponden a Constructive Solid Geometry) resuelve el problema de una forma aproximada. Este método define un conjunto de sólidos elementales que se conocen con el nombre de *primitivas*; los sólidos varían de unos a otros suministradores; son, por ejemplo, cubos, esferas, paralepípedos, pirámides, conos, etc.

La representación por primitivas se establece mediante un

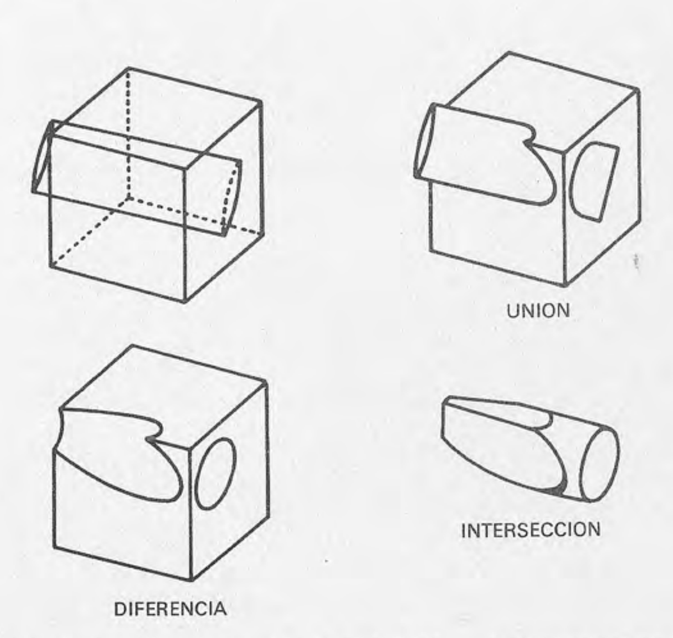


Figura 25.—Gráfico ilustrativo de las diferentes operaciones que se utilizan en el modelado sólido de objetos.

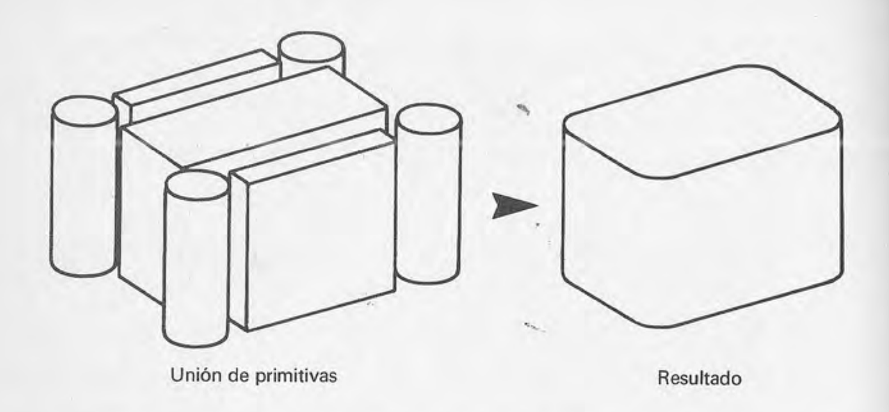


Figura 26.—Esquema de la representación por primitivas de un objeto.

conjunto de operaciones realizadas precisamente con ellas, como son: escalado, posicionamiento, unión, intersección y resta.

Como vemos, todo sólido representado por este método se compone de las primitivas fundamentales y de la secuencia de operaciones necesaria para conseguirlo.

Desde el punto de vista de su implantación es el más extendido en razón de su simplicidad, presentando como inconveniente principal la incapacidad de representación de geometrías complejas.

El método de las Fronteras es quizás el más completo de los implantados en la actualidad, conociéndose también por el término B-REP (Boundary Representation). Conceptualmente se trata únicamente de una extensión del ya descrito método de representación por superficies. El modelo sólido se establece mediante las superficies fronteras y la información adicional sobre cuál de los lados del espacio determinados por la superficie es el ocupado por el sólido.

Al igual que en el caso anterior se pueden realizar operaciones de unión, intersección y resta de sólidos, con lo que este método incluye como caso particular el método de primitivas.

El método B-REP, si bien permite la representación de cualquier sólido, es costoso y de baja implantación debido al elevado consumo de recursos. No obstante, el mercado presenta paquetes operativos que utilizan el método descrito con ciertas simplificaciones, evitándose así los inconvenientes citados.

La simplificación más usual consiste en la asimilación del objeto a un poliedro, aproximando la superficie mediante facetas planas, con lo que se reduce drásticamente el coste computacional.

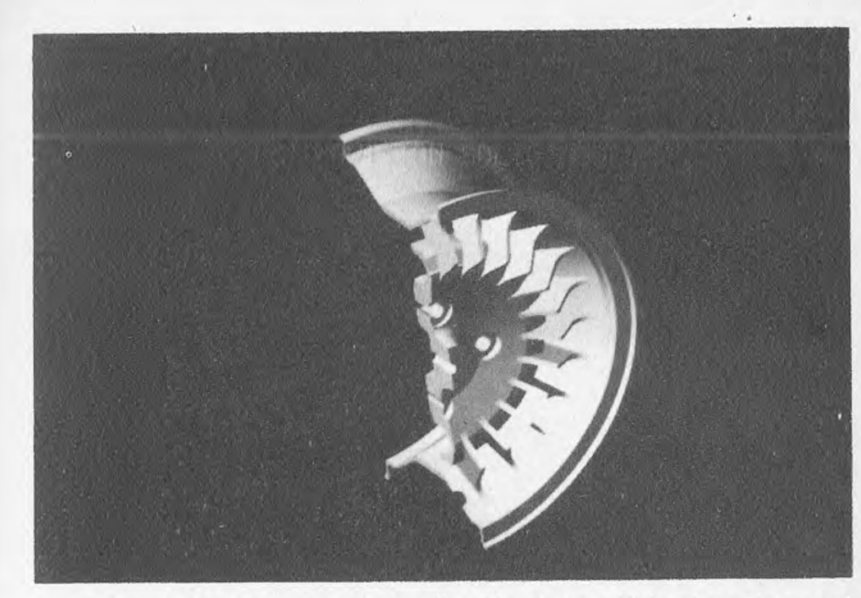


Figura 27.—Ejemplo de visualización de un sólido obtenido por el método de primitivas (Cortesía Control Data).

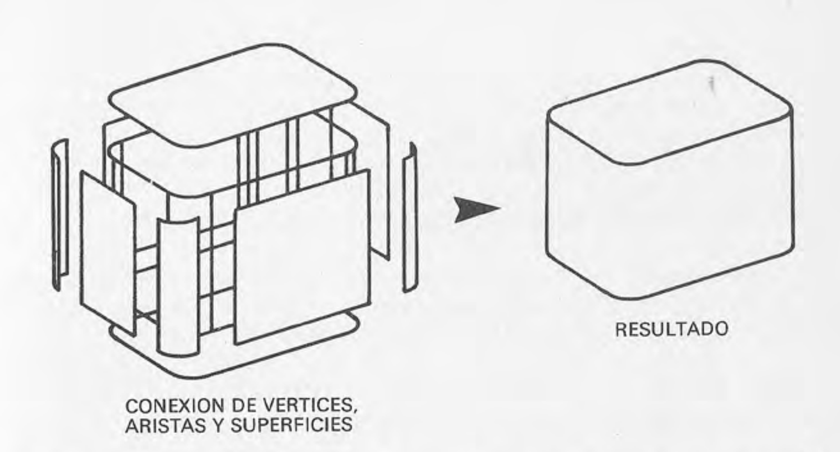


Figura 28.—Esquema de la representación sólida por el método B-REP.

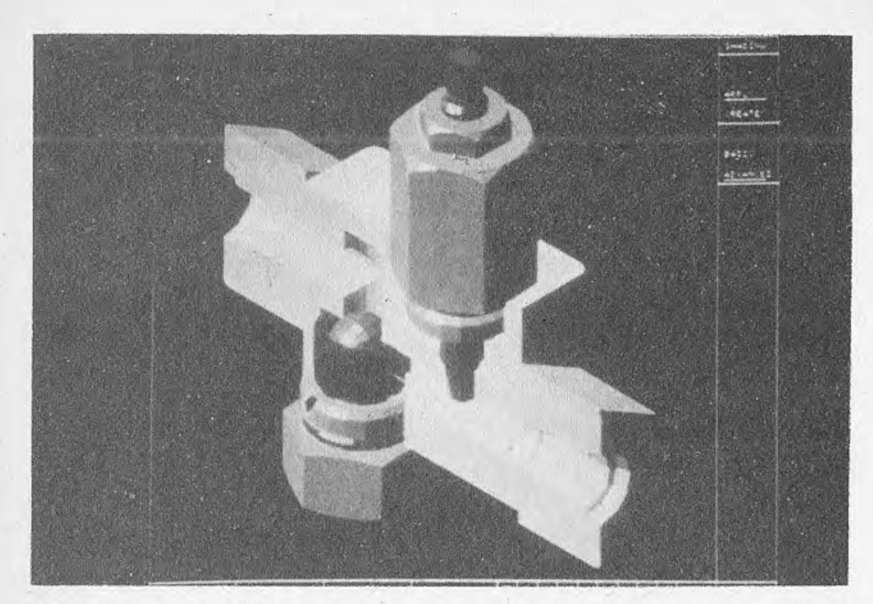


Figura 29.—Visualización de un sólido modelado por el método B-REP (Cortesía IBM).

El inconveniente de la simplificación es la pérdida de la exacta definición de la superficie del objeto, característica fundamental si se quiere utilizar el modelo para fabricación por Control Numérico.

Los métodos descritos (Primitivas y B-REP) existen comercialmente y la mayoría de los paquetes de CAD/CAM, en una u otra forma, los contemplan.

Existe, no obstante, otro método de modelización que aún no está muy extendido y que, sin embargo, posee propiedades que lo hacen muy interesante; nos estamos refiriendo al método Octree. Se basa en la representación del sólido mediante cubos elementales.

Este tipo de representación, que no es nuevo, presentaba el inconveniente del excesivo volumen de memoria necesario para establecer un modelo suficientemente preciso. El método Octree resuelve este problema estableciendo un árbol jerárquico de descomposición —de ahí su nombre— que elimina esta dificultad.

Veamos el funcionamiento del método:

- Se sitúa imaginariamente el sólido a modelizar en un cubo (hexaedro) de tamaño superior. Este cubo, que denominaremos principal, es el origen del árbol jerárquico a establecer.

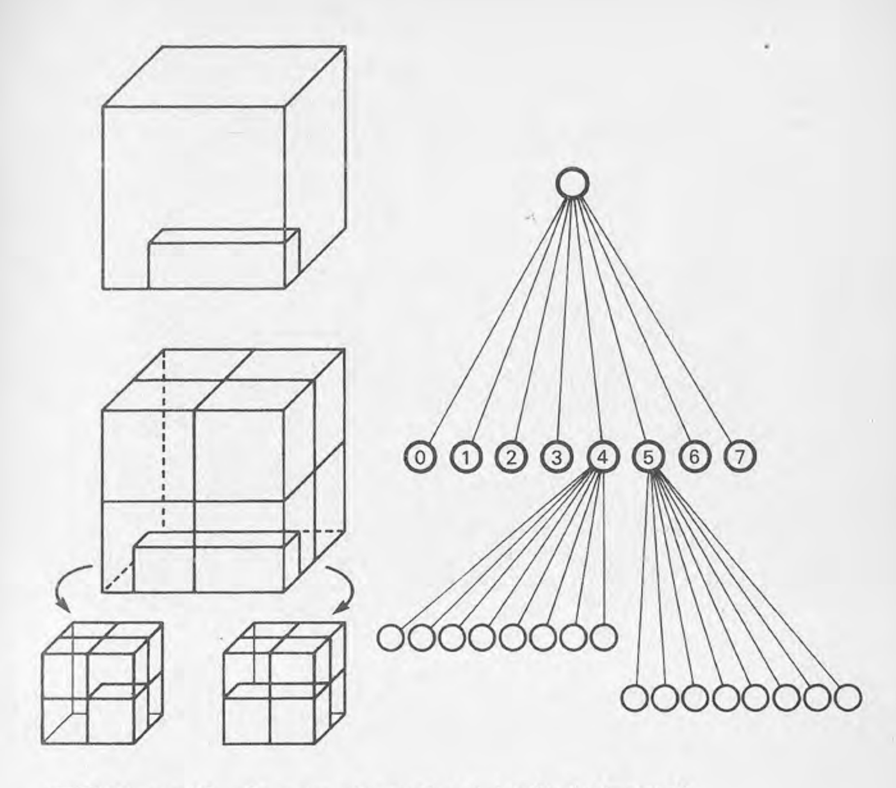


Figura 30.—Esquema ilustrativo del método "octree".

- Se descompone el cubo en ocho dividiéndolo por los planos que pasan por los puntos medios de las aristas. Esta descomposición es la encargada de establecer los niveles "hijos" respecto a un nivel de partida.
- Cuando el objeto o parte de él ocupa de forma completa un cubo se detiene el proceso de división y se apunta en el árbol jerárquico esta incidencia; en caso contrario, el proceso continúa.

La novedad del método se centra, según vemos, en la utilización del árbol de estructura que, al eliminar la necesidad de seguir en la subdivisión, nos permite un ahorro considerable de memoria.

En las aún escasas implantaciones de esta técnica el método Octree presenta ventajas sobre los otros en cuanto a la intersección y visualización, teniendo como inconveniente (como ocurría en el método CSG) la carencia de las ecuaciones de las superficies, lo que la hacen poco deseable para la fabricación por Control Numérico.

Podemos resumir las características del modelo sólido en los siguientes puntos:

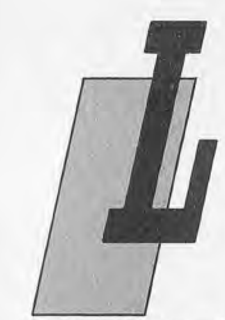
- Permite la definición exacta de los puntos que pertenecen al sólido.
- Hace posible la eliminación de líneas ocultas.
- Permite la extracción de todo tipo de propiedades, como volumen, centro de gravedad, momentos de inercias, ejes principales, etc.

Su inconveniente más notable es su elevado coste computacional, lo que determina que su aplicación y rendimiento industrial sean muy escasos, aun siendo, paradójicamente, el mejor argumento de venta por parte de los suministradores. Su razón no es otra que las posibilidades gráficas que la representación sólida permite y que la convierten en objeto de principal interés de los departamentos de marketing. Ciertamente, las visualizaciones que se pueden conseguir con el modelo sólido son totalmente espectaculares, pero lo que poca gente sabe es el número de horas que invierte un ordenador en obtenerlas.

Hasta aquí hemos intentado describir lo que podríamos denominar aplicaciones CAD estándar; en los capítulos posteriores haremos referencia a sus modos operativos y a las particularizaciones de la tecnología CAD/CAM.

CAPITULO III

APLICACIONES DEL CAD/CAM



legados a este punto de nuestra exposición, nos parece harto probable que, aun en contra de nuestro propósito, las disquisiciones teóricas sobre las posibilidades del CAD/CAM hayan abrumado al lector; conviene, por tanto, conocer las aplicaciones que actualmente existen.

Hemos dicho anteriormente que el término CAD/CAM es equívoco y que, en rigor, deberíamos hablar de técnicas que son afectadas y mejoradas por la utilización de los ordenadores. Resulta fácil imaginar que la mayoría de las actividades relacionadas con la ingeniería han de resultar beneficiadas por el empleo del CAD/CAM. No obstante, nuestro propósito es describir puntualmente las más importantes e intentar servir de guía a una posible utilización por el lector.

Diseño conceptual

En cualquier proceso de diseño existe una primera fase, según describiremos con mayor profundidad en otro capítulo, en la que se realizan los primeros bocetos del objeto a fabricar con el fin de probar la viabilidad teórica de las ideas básicas.

El diseño utilizado en esta fase tan preliminar no tiene en cuenta los detalles —que serán objeto de fases posteriores— y sustituye las formas complejas por otras, en la medida de lo posible, regulares. El CAD/CAM, nos permite la realización de esta fase mediante la utilización de técnicas de modelado sólido o, incluso, modelado por superficies.

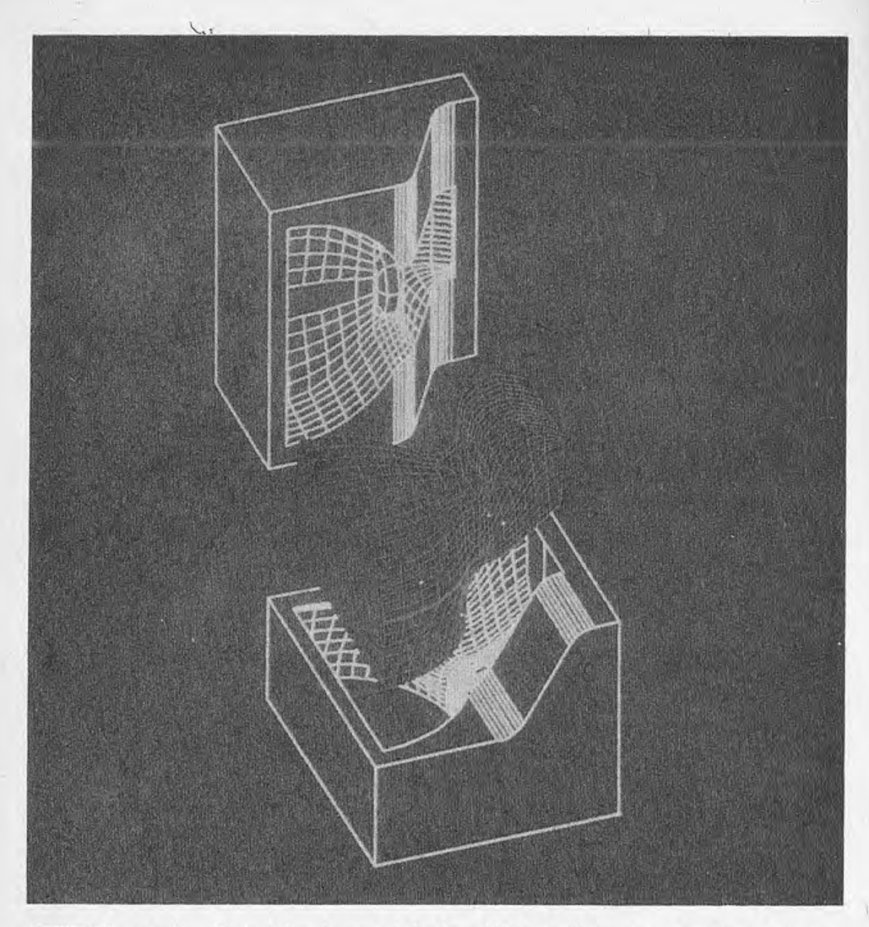


Figura 1.—Ejemplo de modelado sólido utilizando el método de representación por fronteras. La utilización de este tipo de representaciones permite obtener la masa, el centro de masas y otro tipo de parámetros que informan al diseñador de la viabilidad del diseño (Cortesía de IBM).

En la actualidad, prácticamente todas las aplicaciones de CAD/CAM operativas (CADDS 4X, ICEM SOLID MODELLER, CADAM, CATIA, EUCLID, etc.), realizan satisfactoriamente operaciones de modelado por el método de primitivas e, incluso, algunos de ellos (CATIA y EUCLID) por el sistema B-REP.

Teniendo en cuenta la simplicidad de los diseños propios de esta fase suele ser suficiente la utilización de sistemas de modelado por primitivas, que nos permiten el cálculo de magnitudes

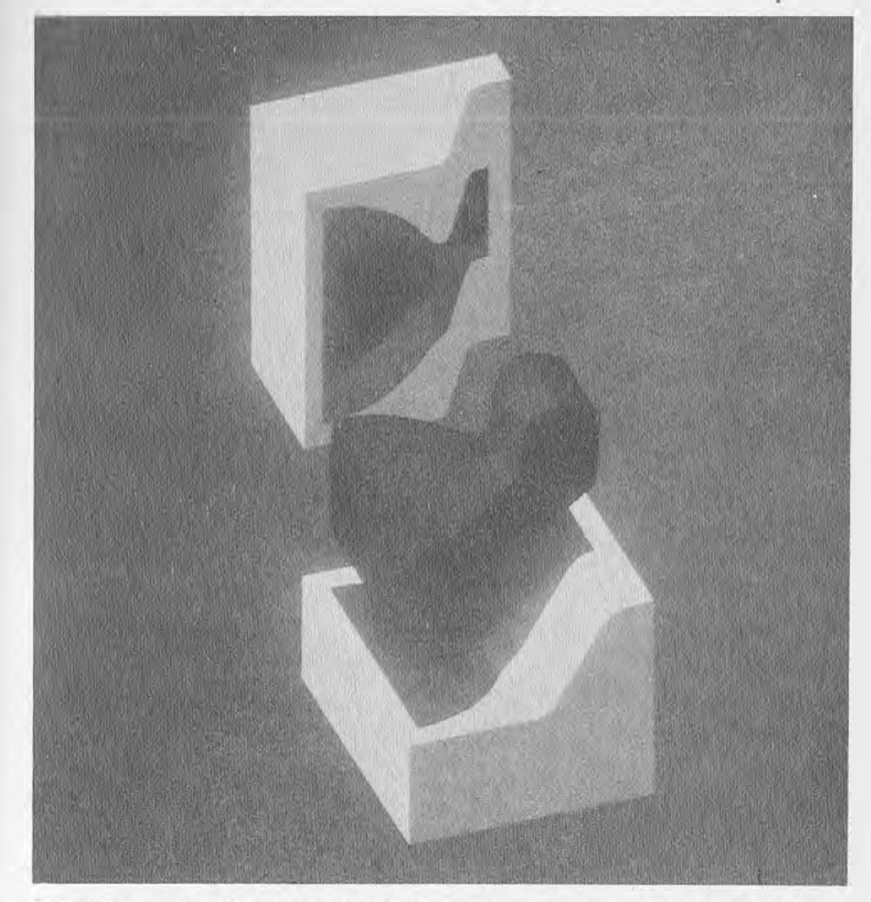


Figura 2.—El mismo sólido de la figura 1 una vez iluminado (Cortesía de IBM).

mecánicas como centro de gravedad, tensor de inercia y ejes principales, de gran interés en esta etapa.

Diseño de detalles y delineación

A esta aplicación es a la que podríamos, con toda justicia, adscribir la palabra CAD. Se trata ahora de crear diseños geométricos mediante la utilización del nuevo hardware, constituido fundamentalmente por la Estación de Trabajo, y con el concurso de un software específicamente diseñado para este propósito. Este

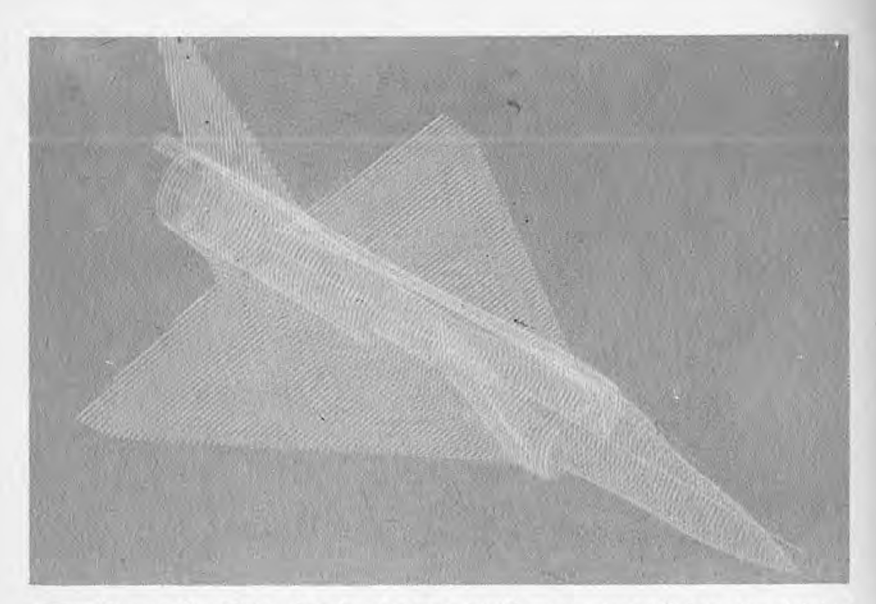


Figura 3.—Ejemplo de representación por superficies de objetos complejos (Cortesía de IBM).

software contempla de forma especialmente cuidadosa su comunicación con el operador, con el fin de que la operativa del sistema sea lo más simple e interactiva posible.

El procedimiento utilizado podría ser el siguiente:

- La interacción del operador se realiza mediante la tableta gráfica y el empleo de un lápiz o ratón. Eventualmente también se utiliza el teclado.
- Todas las respuestas del sistema informático al operador se reflejarán en el Terminal Gráfico, que en todo momento mostrará la posición del lápiz sobre la tableta gráfica, mediante una cruz o "crosshair".
- En el el Terminal Gráfico aparecen simultáneamente las modificaciones de las entidades gráficas resultantes de la operación y un conjunto de mensajes de tipo informativo.
- El sistema orienta al operador, de acuerdo con el mensaje de tipo informativo, sobre las posibles operaciones a realizar, de forma que su utilización resulta autoexplicativa.

Básicamente son dos las operaciones que el operador puede realizar:

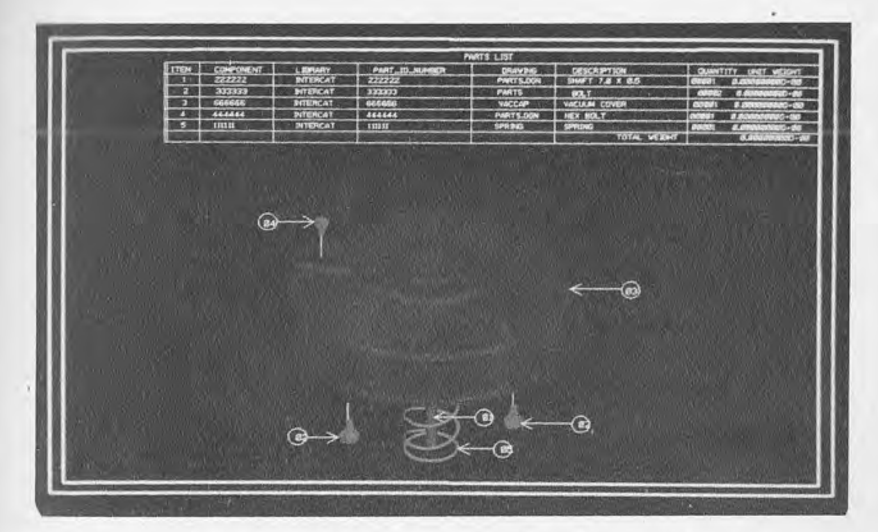


Figura 4.—Las posibilidades de visualización de los modelos de superficies son iguales a las de los modelos sólidos (Cortesía de Intergraph).

- Operaciones de tipo "designación de entidades". Para lo que el operador "pincha" la entidad seleccionada o una zona cercana a ésta.
- Operaciones de tipo modificación o creación de entidades. Para esto, o bien "pinchará" la tableta gráfica en una zona específicamente acotada para ello, o bien elegirá un menú que aparezca en pantalla conteniendo la operación, como si de una entidad se tratase.

Como vemos, la secuencia será: Operación de tipo creación o modificación, seguida del conjunto de entidades a modificar o crear.

El conjunto de operaciones y entidades posibles varía de unas aplicaciones a otras, pero básicamente todas las soluciones contemplan el modelo de alambres y, de forma más o menos restringida, el de superficies.

Durante la introducción de entidades, el software contempla capacidades gráficas como son el "zoom" y el "panning". Mediante la primera el operador puede ampliar o disminuir el tamaño de su modelo con el fin de abarcar más o menos información; mediante la segunda (panning) el operador puede, una vez fijada una ventana, desplazarla a lo largo y ancho de su modelo para visualizar diferentes partes de éste.

La mayoría de los sistemas de CAD/CAM son tridimensionales, es decir, mantienen una información completa sobre el modelo, permitiendo de forma automática la obtención de cualquier vista, proyección o corte.

Todas las aplicaciones del CAD organizan su modelo en distintos niveles o capas. Estos niveles se comportan como transparencias, de manera que el modelo total es la superposición de todas ellas. El sistema permite visualizar selectivamente los niveles de manera que se visualice aquello que interesa en cada momento. Esto permite la organización en subsistemas o en niveles de complejidad, siendo corriente que en una capa se encuentre el modelo de superficie, en otra el de alambre, en otra las cotas, etc.

De igual forma, y con carácter de gran utilidad para el diseño de planos, se pueden realizar de forma automática o asistida todo tipo de acotaciones y anotaciones, pudiéndose elegir el tipo de norma y unidades de medida a utilizar.

Una característica importante, si bien no totalmente extendida, es la posibilidad del denominado "Diseño Paramétrico". Por Diseño Paramétrico entendemos la capacidad de la aplicación de CAD/CAM de soportar un lenguaje de tipo gráfico que permita la realización de programas para la producción de piezas, de forma que sus dimensiones sean variables y ajustables en cada caso por el usuario.

En muchos casos tal capacidad permite al usuario definir sus propios comandos, con lo que puede ajustar la aplicación a sus necesidades.

Modelización por Elementos Finitos

En la Modelización por Elementos Finitos, también denominada por sus siglas inglesas (F.E.M., Finite Element Modelling), nos encontramos ante el caso de una tecnología existente potenciada por el CAD/CAM.

La Modelización por Elementos Finitos o, más exactamente, el Análisis por Elementos Finitos, pretende predecir el comportamiento de un material sometido a distintos esfuerzos mecánicos o térmicos. Se trata de calcular las tensiones y deformaciones que sufrirá un determinado objeto, con el fin de delimitar la viabilidad de un diseño y su límite operacional.

El método de Análisis por Elementos Finitos está basado en la descomposición del objeto en un conjunto discreto de sólidos elementales con formas conocidas como cubos, tetraedros, octaedros, etc. La descomposición en este tipo de objetos es lo que se denomina modelado por Elementos Finitos.

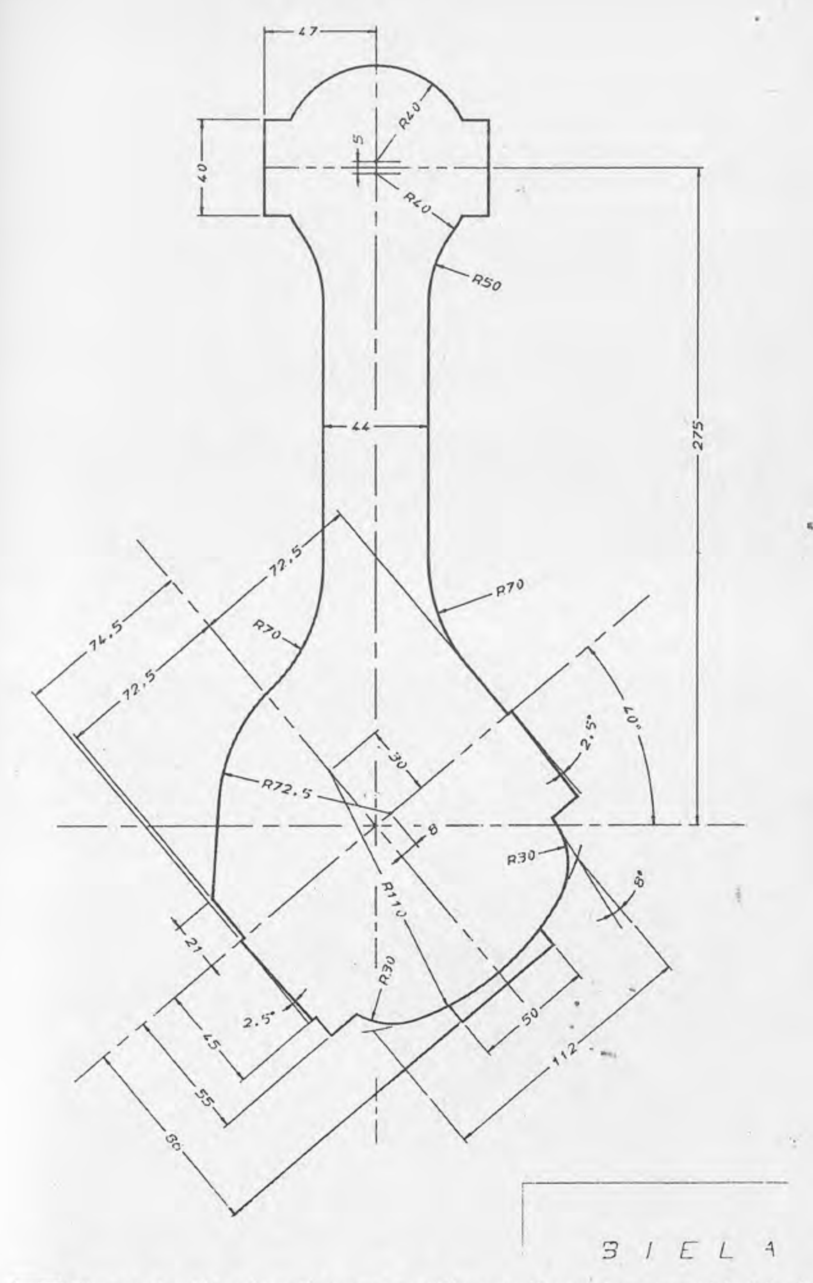
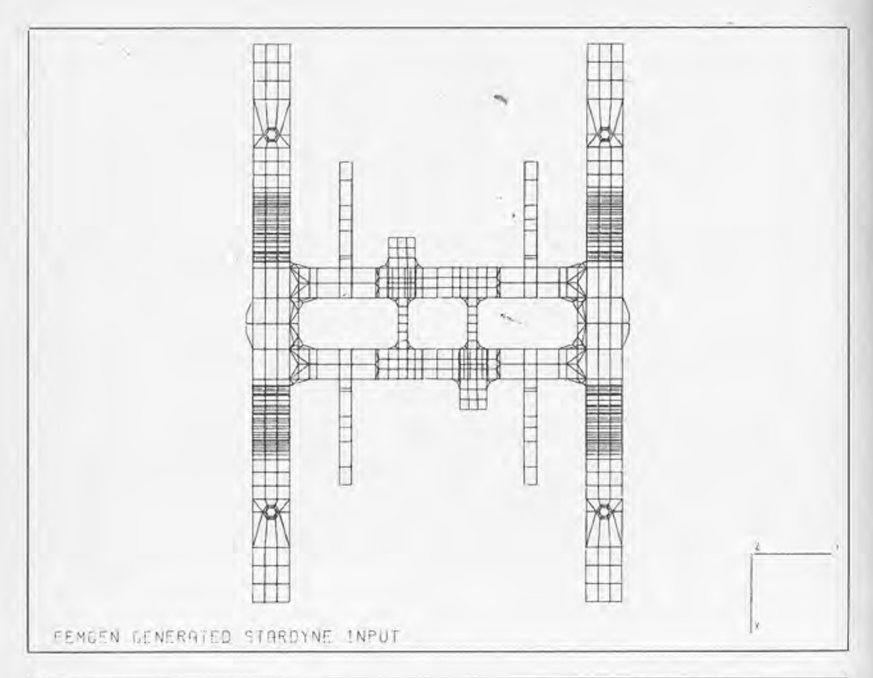


Figura 5.—Un ejemplo muy sencillo que ilustra las capacidades de acotación de los paquetes de CAD/CAM.



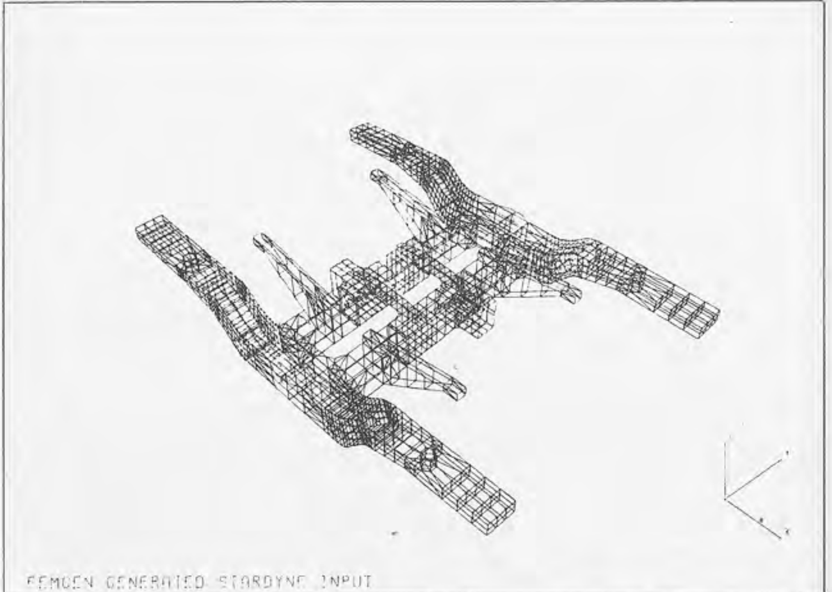


Figura 6.—Diferentes perspectivas de un objeto modelizado por Elementos Finitos (Cortesía de ERDISA).

La teoría matemática en la que se basa esta tecnología permite, conocido el comportamiento de los elementos finitos, determinar el comportamiento del objeto problema.

Tal y como hemos adelantado, este método existía antes de la aparición del CAD/CAM, pero presentaba un problema de difícil solución a la hora de su utilización, como era la introducción de la forma geométrica del objeto a analizar.

La aparición de CAD/CAM resuelve este problema mediante la aplicación de un proceso que podemos resumir en las siguientes fases:

- Introducción de la geometría del objeto a analizar mediante la utilización de un software de CAD/CAM.
- Generación de la malla constituida por los modos de los elementos finitos. Esta operación se realiza utilizando un paquete específico que permite su automatización.
- Paso del modelo generado (el de elementos finitos) a un programa específico de Análisis por Elementos Finitos. Este proceso se denomina *preprocesado*, y al programa que lo realiza, *preprocesador*.
- Análisis del modelo mediante cualquiera de los programas estándar existentes (NASTRAN, ANSYS, STRUDLE, SAP IV...).
- Paso de la malla obtenida tras el análisis a la representación establecida por el programa de CAD/CAM utilizado. A este proceso se le denomina *postproceso*.
- Visualización de los resultados. Se establecen diferentes visualizaciones del análisis, de los que los más frecuentes son la visualización del objeto deformado y la de las líneas de isotensión.

Simulación cinemática

Al igual que en el caso al que acabamos de referirnos, existían anteriormente paquetes de aplicaciones que, mediante la introducción de elementos geométricos de restricciones y condiciones de ligaduras, producían salidas gráficas de los movimientos de piezas o engranajes mecánicos.

En la actualidad estos paquetes han resultado potenciados por la facilidad aportada por el CAD/CAM para la introducción de la geometría, habiéndose desarrollado paquetes de interface entre el paquete de CAD/CAM y los de análisis cinemático. En esencia, el mecanismo utilizado es básicamente el mismo descrito en el caso de Elementos Finitos: una aplicación efectúa el preprocesado, suministrando los datos el paquete de análisis cinemático, y otro paquete, postprocesador, visualiza los resultados gráficamen-

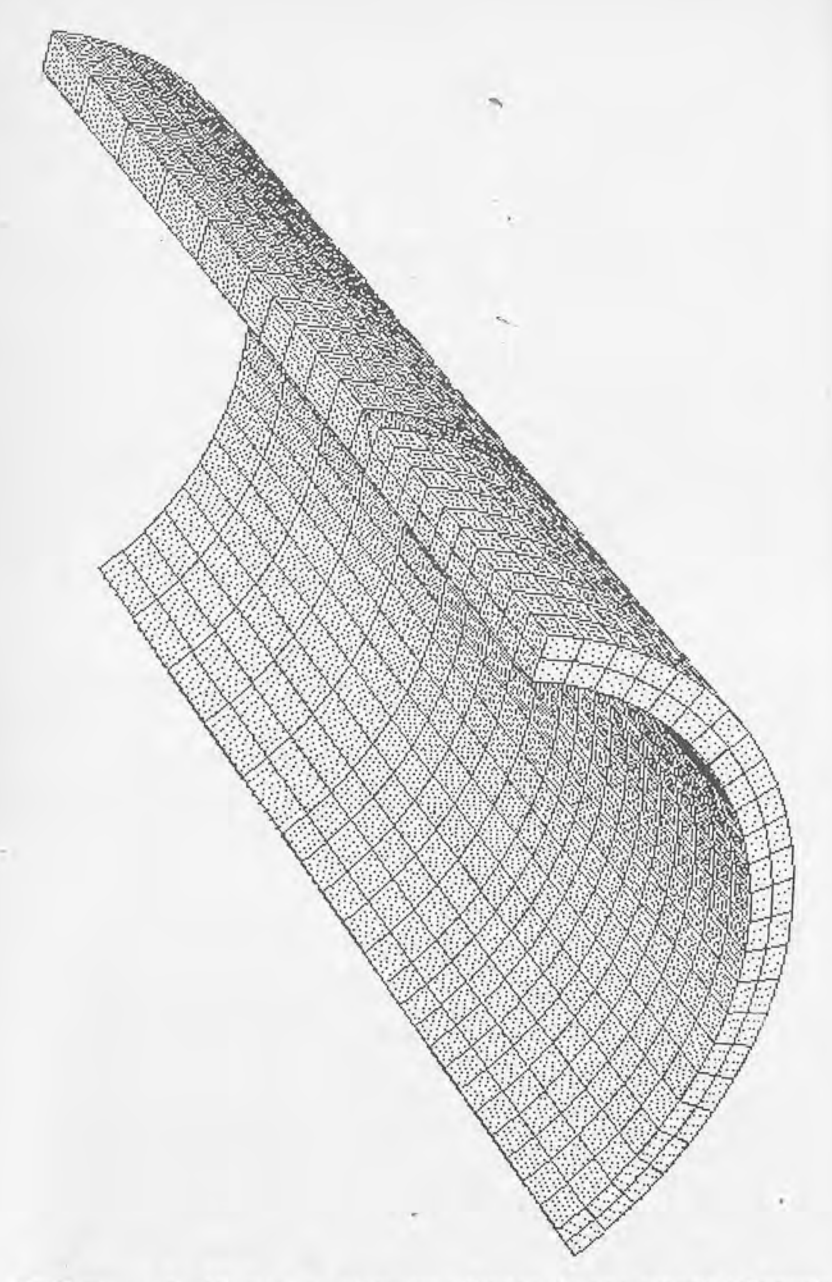


Figura 7.—Modelo de Elementos Finitos de una tubería (Cortesía PRINCIPIA).

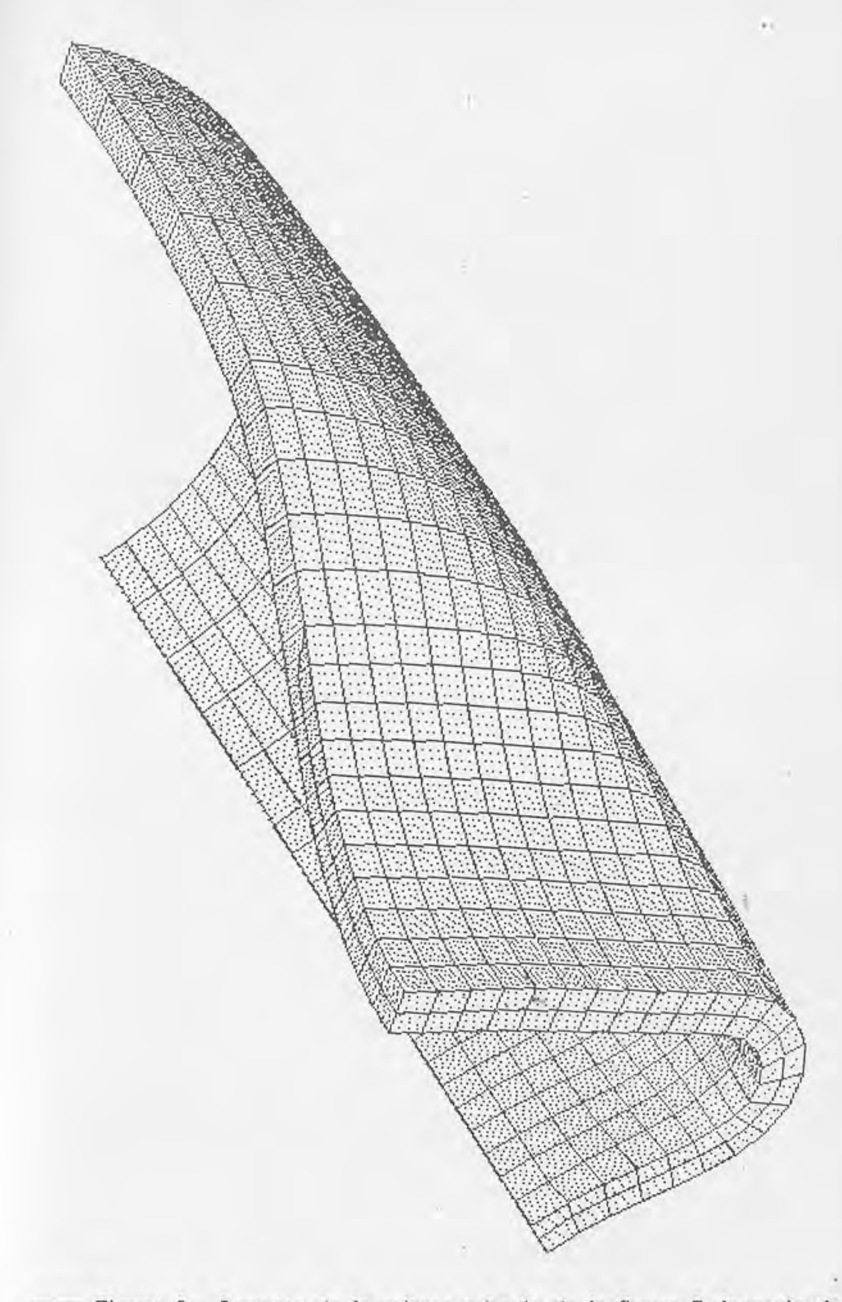


Figura 8.—Aspecto de la misma tubería de la figura 7 después de recibir un impacto (Cortesía de PRINCIPIA).

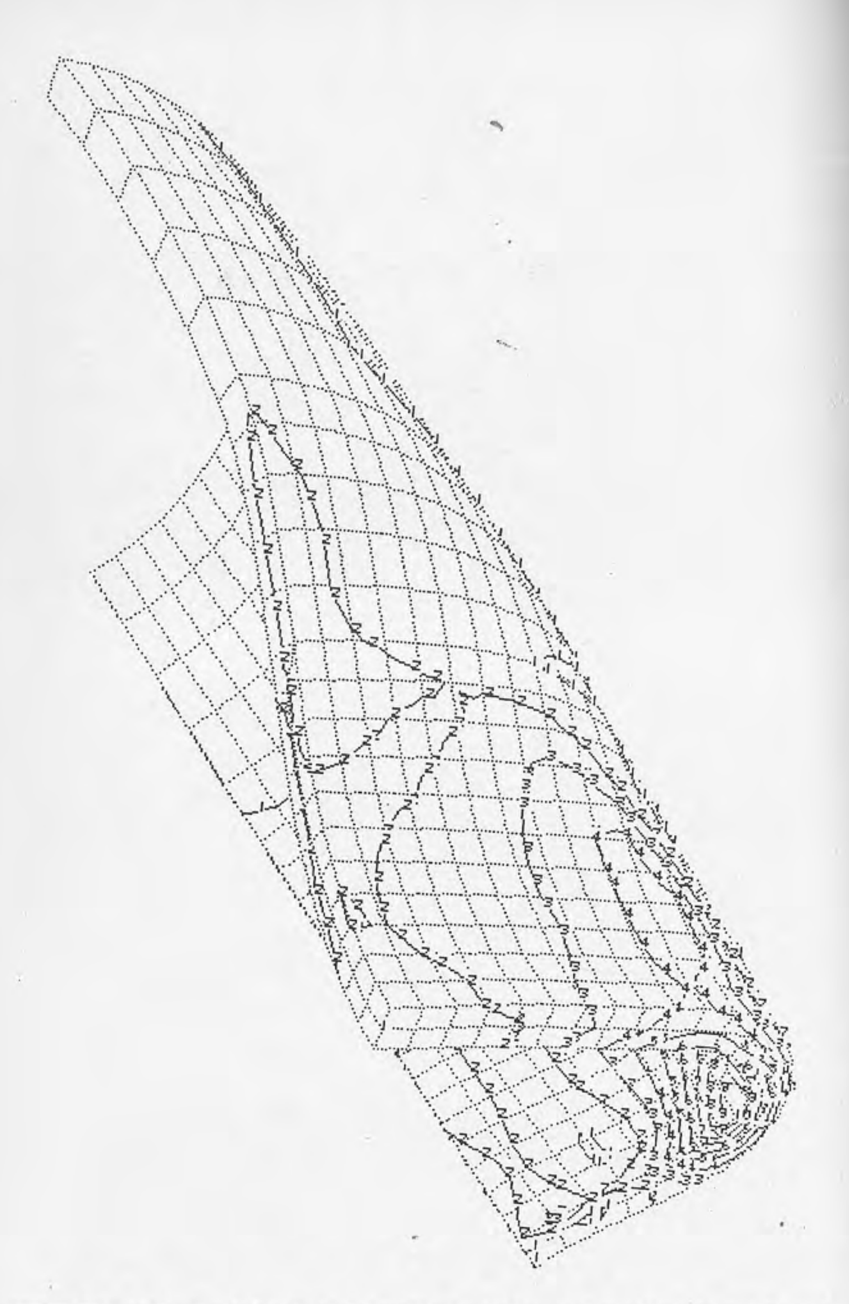


Figura 9.—La tubería deformada de la figura 8 mostrando las líneas de isotensión.

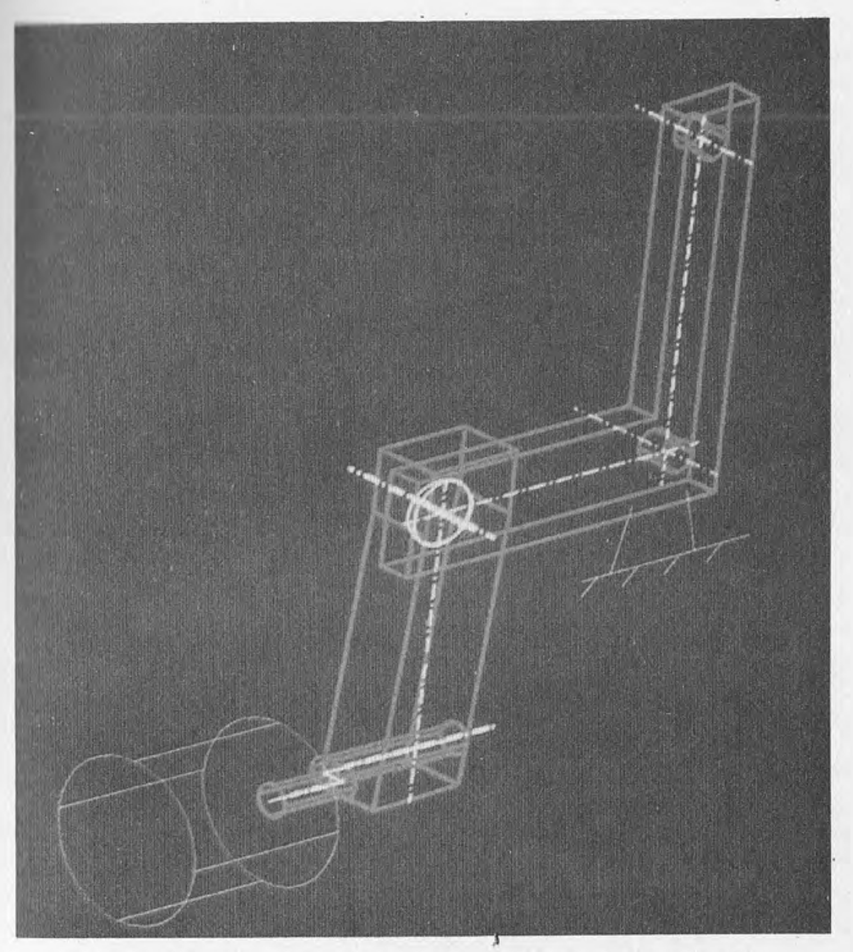


Figura 10.—Ejemplo de un mecanismo (Cortesía Intergraph).

te. Cuando el problema lo permita, los resultados pueden ser presentados en tiempo real, dando al operador una visión completa y animada del movimiento del mecanismo.

Nesting

Entendemos por *"nesting"* la aplicación del CAD/CAM consistente en la división de una superficie en superficies de forma

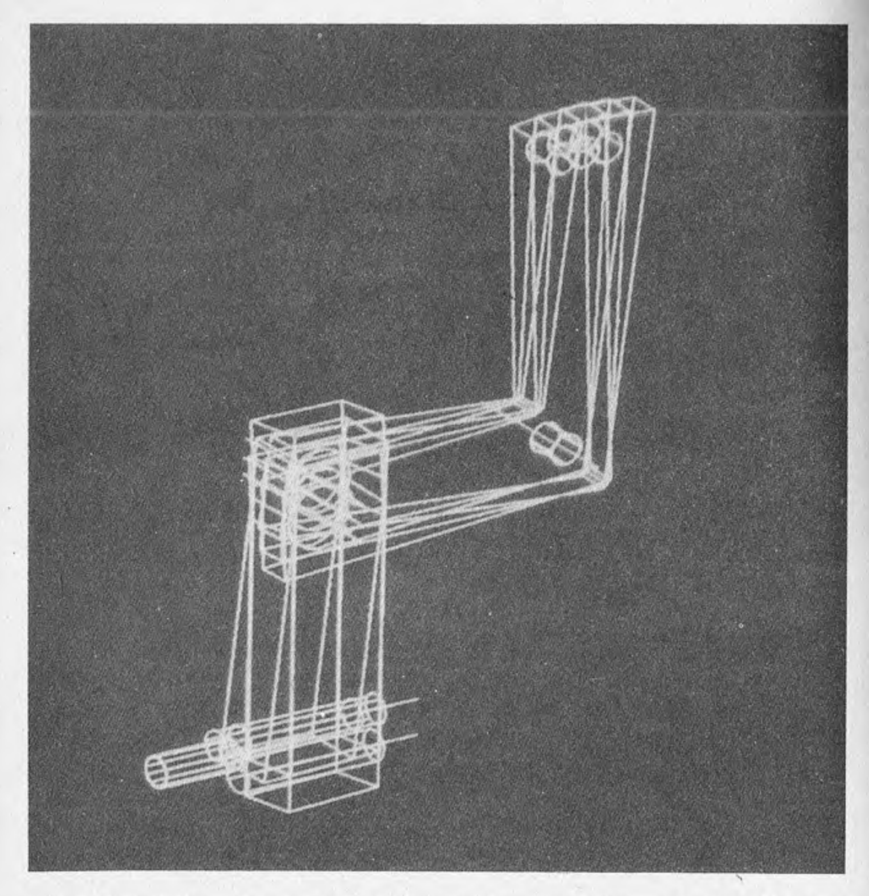


Figura 11.—Animación del mecanismo anteriormente mostrado en la figura 10 (Cortesía Intergraph).

diversa con el objeto de que el número de estas últimas sea máximo.

Esta aplicación es de utilidad en distintas áreas tales como el corte de chapa y de piezas de confección, y su objetivo es claramente económico: evita desaprovechar material en la operación de corte.

Dentro de las aplicaciones de NESTING, podemos distinguir dos tipos:

- Nesting automático.
- Nesting manual.

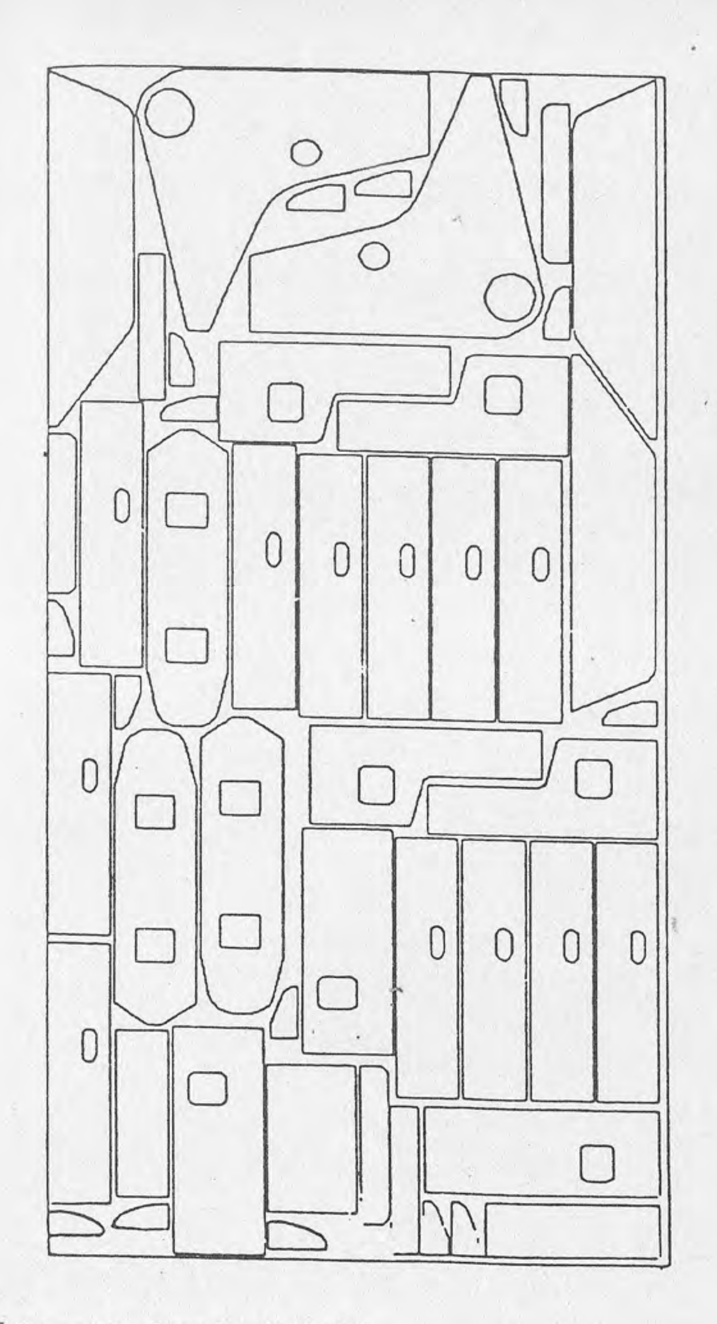


Figura 12.—Ejemplos de nesting.

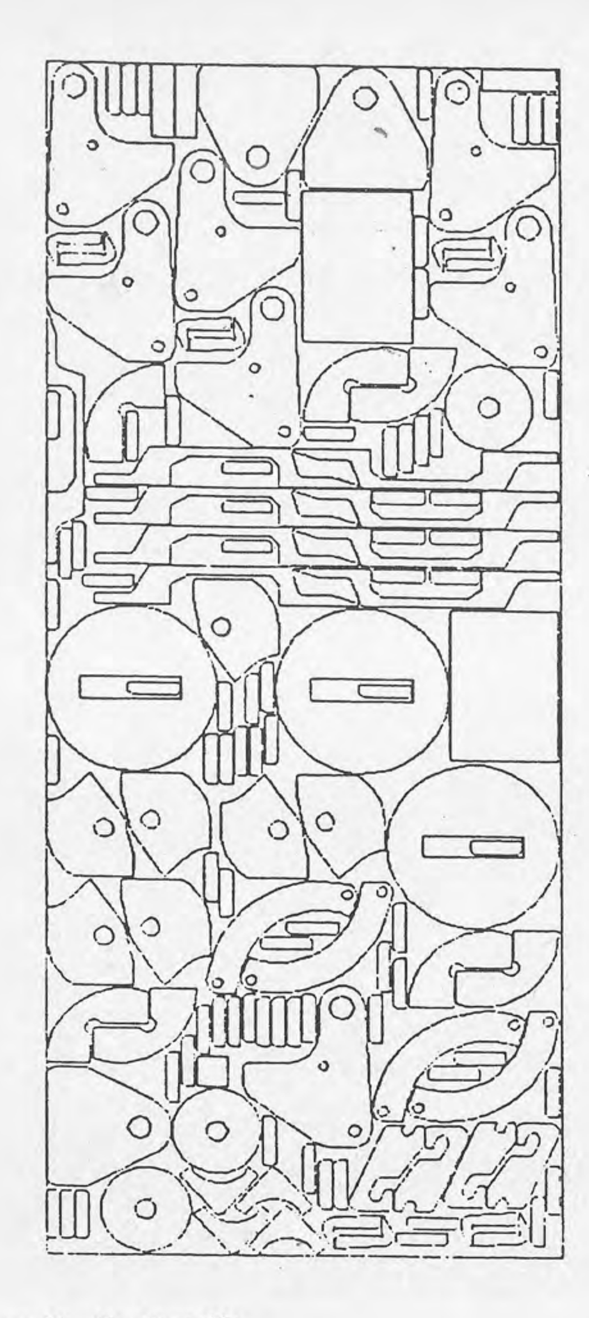


Figura 12.—Continuación.

En el primer caso el sistema recibe información de la plancha de partida y de las superficies a generar y automáticamente obtiene el resultado. Es un caso infrecuente, ya que supone coste computacional elevado.

En el segundo caso, el operador, utilizando las facilidades que para la edición de gráficos le aporta el CAD/CAM, mueve dinámicamente en el terminal gráfico la superficie deseada hasta conseguir un resultado aceptable. Se trata, en definitiva, de una versión informática del conocido "puzzle".

Algunos sistemas utilizan una situación híbrida, de modo que el operador "ayuda" al sistema fijando las posiciones de ciertas piezas de una forma heurística.

Piping

El término "*piping*" deriva de la palabra *PIPE*: tubería; utilizándose este vocablo para la designación del trazado de tuberías o cableado en edificios, centrales de energía, etc.

Probablemente el lector no habrá reparado nunca en lo complejo del trazado de unas conducciones de esta índole, pero si ob-

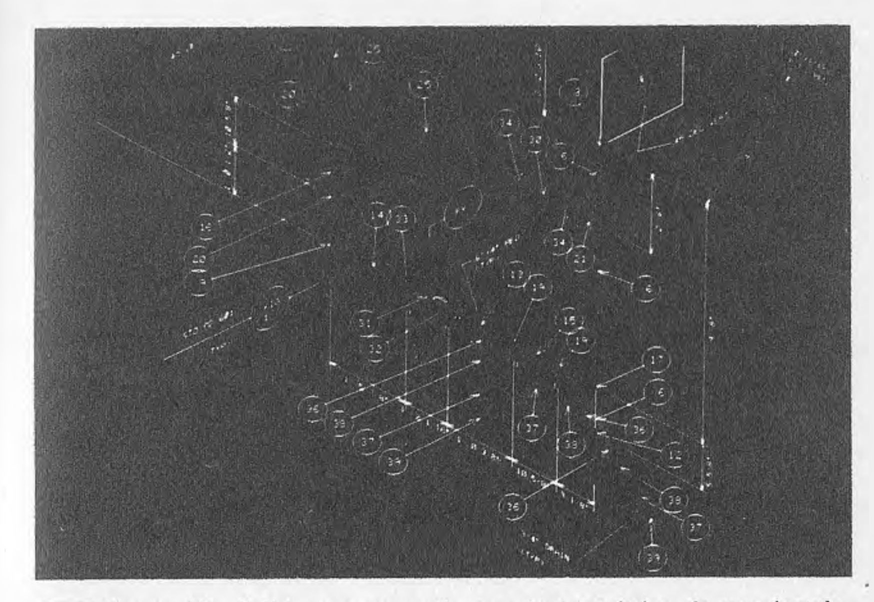


Figura 13.—Salida correspondiente a la isométrica de una instalación de tuberías (Cortesía Intergraph).

servamos una cualquiera, por ejemplo las tuberías de la calefacción, nos daremos cuenta que se componen de tramos rectos, codos, válvulas de diferentes tipos, bifurcaciones y un largo etcétera de componentes. Todos han de colocarse adaptándose a una estructura soporte, como, por ejemplo, las paredes de un edificio.

Este simple ejemplo, las conducciones de la calefacción, convencerá al lector de las dificultades existentes al realizar proyectos de más alto nivel, como pueden ser una refinería o una central nuclear.

El problema del piping en una instalación industrial es doble: de un lado, la dificultad del diseño (adaptación a una estructura soporte, determinación de lugares de posible paso de las tuberías, etc.) y de otro, la dificultad del montaje.

El CAD/CAM aporta al primer problema soluciones que parten del conocimiento de la estructura soporte, así como de las dimensiones de los distintos componentes utilizados. De esta forma

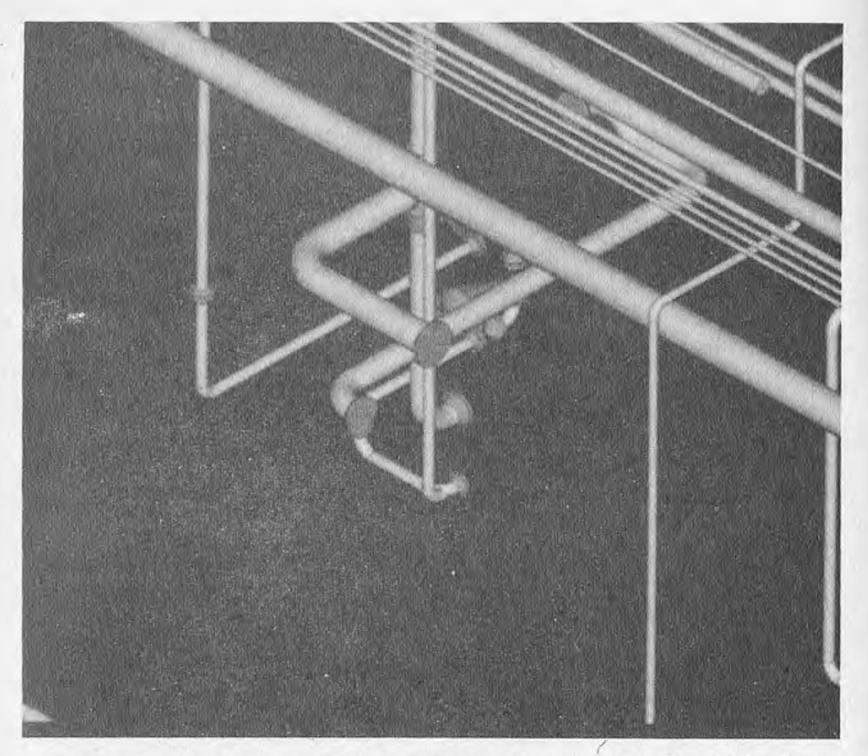


Figura 14.—Imagen real obtenida mediante modelado sólido de una instalación de tuberías (Cortesía de IBM).

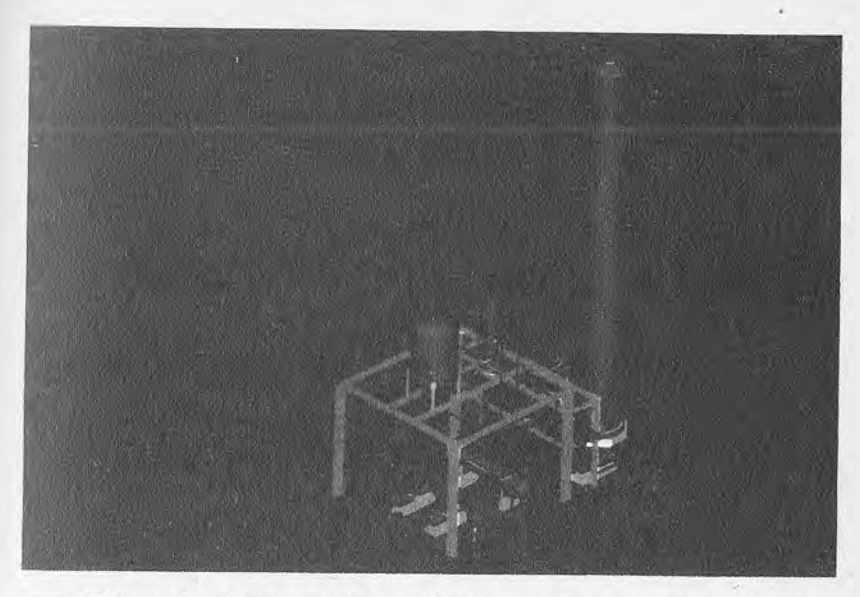


Figura 15.—Imagen real de una instalación de tuberías mediante técnicas de sombreado de superficies (Cortesía Intergraph).

el operador puede, de una manera dinámica, trazar el recorrido desde su terminal y el sistema le proporcionará las longitudes en función de los componentes utilizados.

Para el segundo problema es necesario proporcionar a los montadores toda la información necesaria para que el trabajo pueda realizarse sin ningún tipo de error. Tradicionalmente, el equipo de montaje recibe una lista de todos los componentes que intervienen en el recorrido, así como una vista isométrica de trazado, en el que dichos componentes están especificados. Como es evidente, el CAD/CAM proporciona estos elementos necesarios para el montaje simplemente como una derivación de la primera fase.

Mapping

El término "*mapping*" se refiere a todos los aspectos implicados en la producción de mapas cartográficos. Esta disciplina existía con anterioridad a la introducción del CAD/CAM que, en rigor, no ha hecho otra cosa que potenciarla.

Normalmente, el proceso de elaboración de un mapa comienza con la obtención de fotografías aéreas, o incluso estereografías, completando la información que éstas proporcionan con levanta-

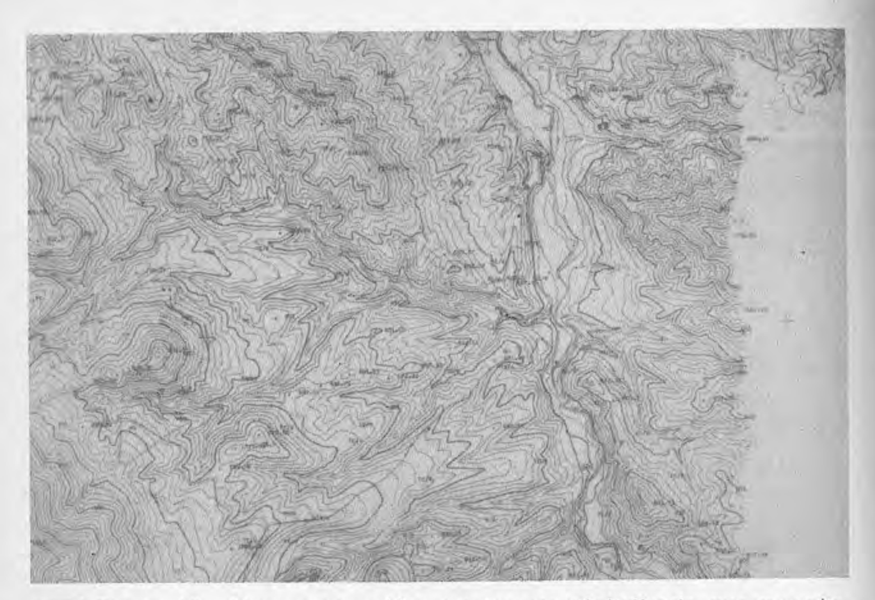


Figura 16.—Plano cartográfico totalmente digitalizado que permite la extracción de propiedades de los elementos que lo componen (Cortesía de SLISA).

mientos topográficos. Estas técnicas aportan conocimientos suficientes para el trazado de las curvas de nivel que, en definitiva, es el objetivo final del proceso. El CAD/CAM aporta un conjunto de programas que permiten "vectorizar" una imagen generalmente fotográfica de las curvas de nivel, consiguiéndose de esta forma la compactación de la información y la posibilidad de su edición y tratamiento.

Estos procedimientos de vectorización se desarrollan generalmente de una forma mixta, es decir, mediante el concurso de un operador humano que ayuda al ordenador al reconocimiento automático de entidades.

Los últimos esfuerzos realizados están encaminados a conseguir el reconocimiento automático de entidades mediante el empleo de técnicas de inteligencia artificial, de lo que derivará, en un futuro próximo, la automatización del proceso de vectorización.

Actualmente, el mapping se utiliza para la realización de mapas urbanos que permiten el mejor aprovechamiento y conocimiento de los complejos sistemas que la infraestructura urbana comporta. El CAD/CAM aporta la posibilidad de organizar esta infraestructura en niveles a través de su estructuración, en distintos

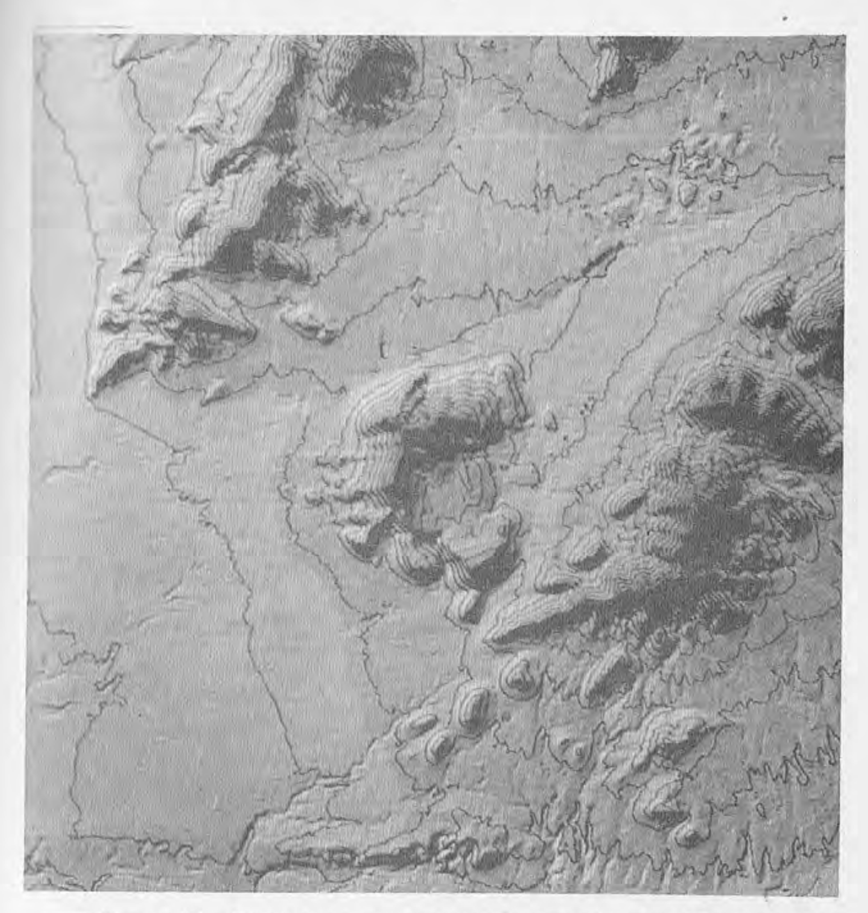


Figura 17.—Distintas representaciones de un terreno (Cortesía Intergraph).

sistemas (eléctricos, alcantarillado, teléfonos, etc.) permitiendo el estudio de las interferencias que se establezcan entre ellos, etc.

Diseño de esquemas

Un esquema no es sino una descripción gráfica de la disposición geométrica de los componentes y sus conexiones. Los esquemas se utilizan para la representación de diferentes equipos, aunque los más utilizados son:

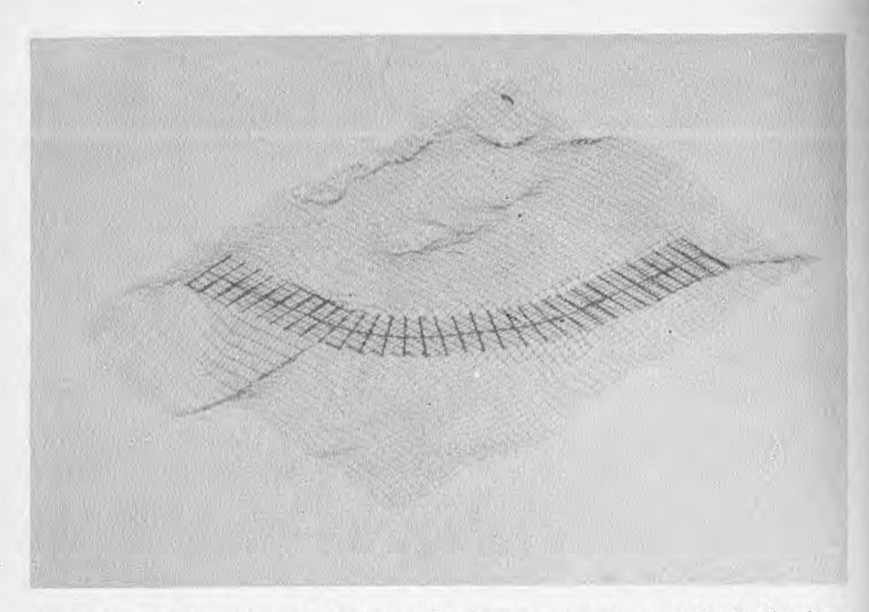


Figura 18.—Ejemplo del trazado de una carretera mediante técnicas de mapping digital (Cortesía Intergraph).

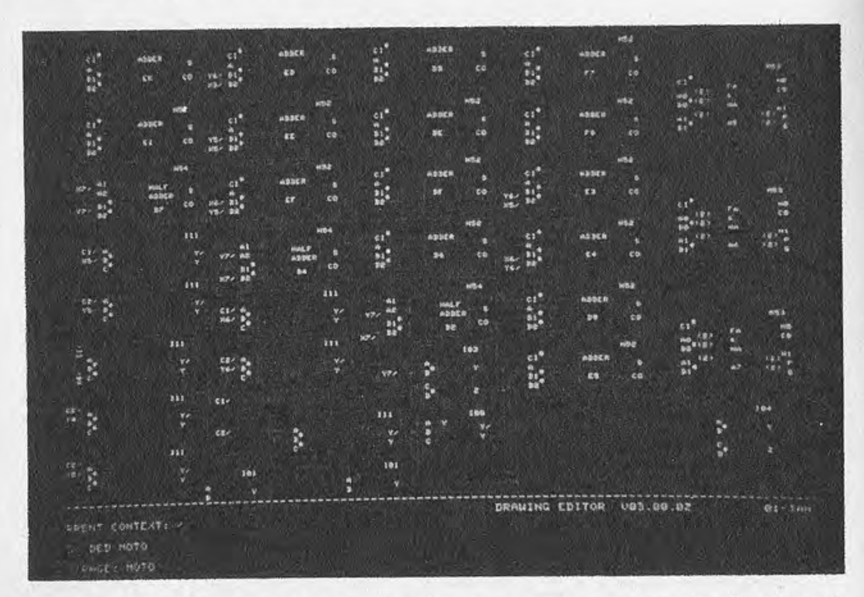


Figura 19.—Aspecto en pantalla de un esquema de diseño electrónico.

— Hidráulicos.
— Eléctricos.
— Electrónicos.

El CAD/CAM facilita la generación de esquemas mediante la creación de librerías de símbolos que representan a los diferentes componentes estándar utilizados en el diseño. Las facilidades de edición de gráficos son utilizadas simultáneamente junto con la invocación de los símbolos, evitando de esta forma la realización reiterada de los mismos.

Por otra parte, dichos esquemas son frecuentemente utilizados como sistema de introducción de datos para diferentes paquetes que permiten la simulación física de los esquemas diseñados.

Diseño de circuitos impresos

Uno de los principales problemas a resolver una vez diseñado un sistema electrónico es la realización del circuito impreso.

El circuito impreso, también conocido por sus iniciales inglesas (P.C.B., Printed Circuit Board), está compuesto por un conjunto de componentes generalmente estándar y una serie de vías de conexión que se denominan pistas. Las pistas se disponen en dos o más capas (generalmente no más de 16), estando su disposición geométrica determinada por:

- Las condiciones de diseño. Existen componentes que para su funcionamiento han de estar situados próximamente.
- La necesidad de que las pistas no se crucen.

Esta última condición es causa de no pocos quebraderos de cabeza entre los diseñadores, que han de efectuar innumerables tentativas en la colocación de los componentes y en el trazado de las pistas antes de llegar a la situación definitiva que respete esta segunda condición.

El CAD/CAM favorece su obtención mediante su extraordinaria capacidad de edición gráfica, permitiendo al diseñador reducir el tiempo empleado en el estudio de las distintas alternativas.

Existen, no obstante, sistemas de generación de PCBs dotados de la cualidad denominada *auto-routing* o también *routing-automático*. Esta característica significa que el sistema, una vez conocidas las conexiones existentes entre los distintos componentes, es capaz de obtener la distribución geométrica de las pistas por sí mismo.

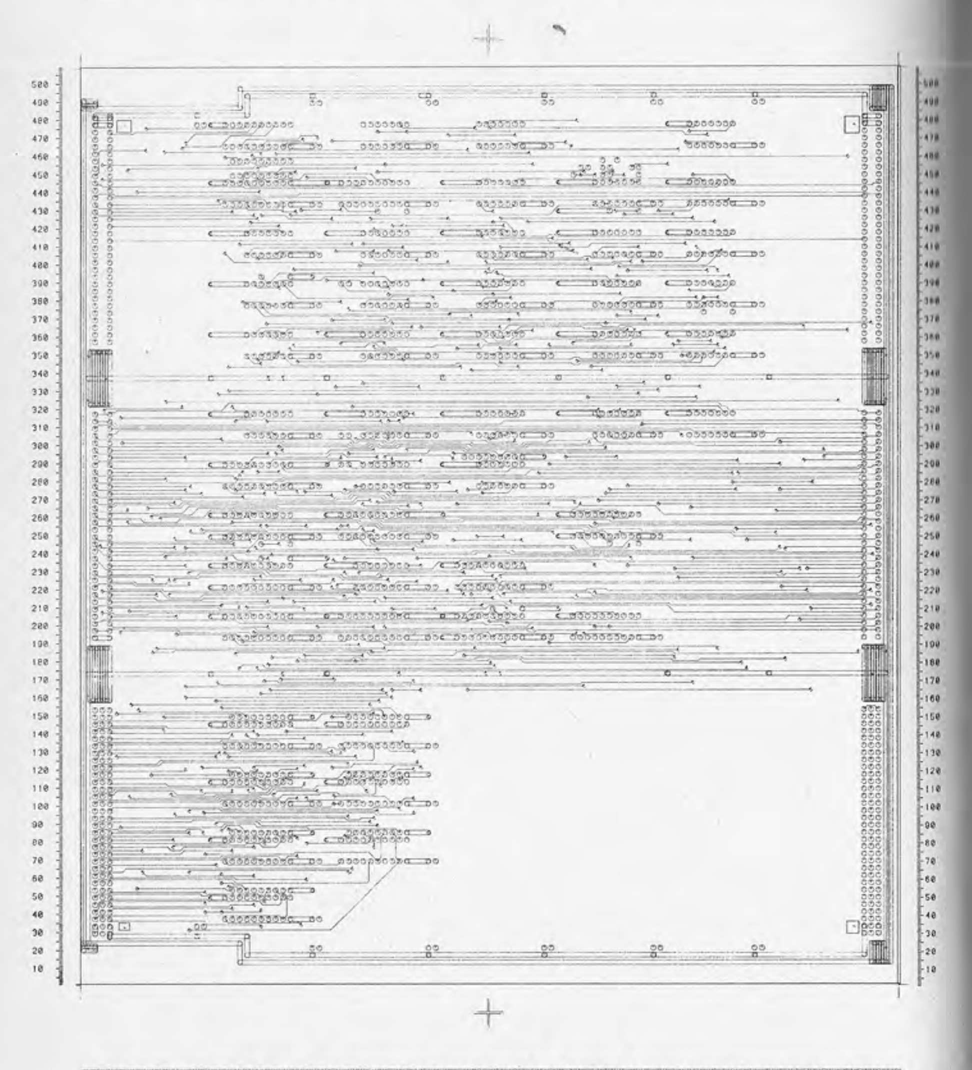




Figura 20.—Placa de circuito impreso obtenida mediante procedimientos de rutado automático (Cortesía de ERDISA).

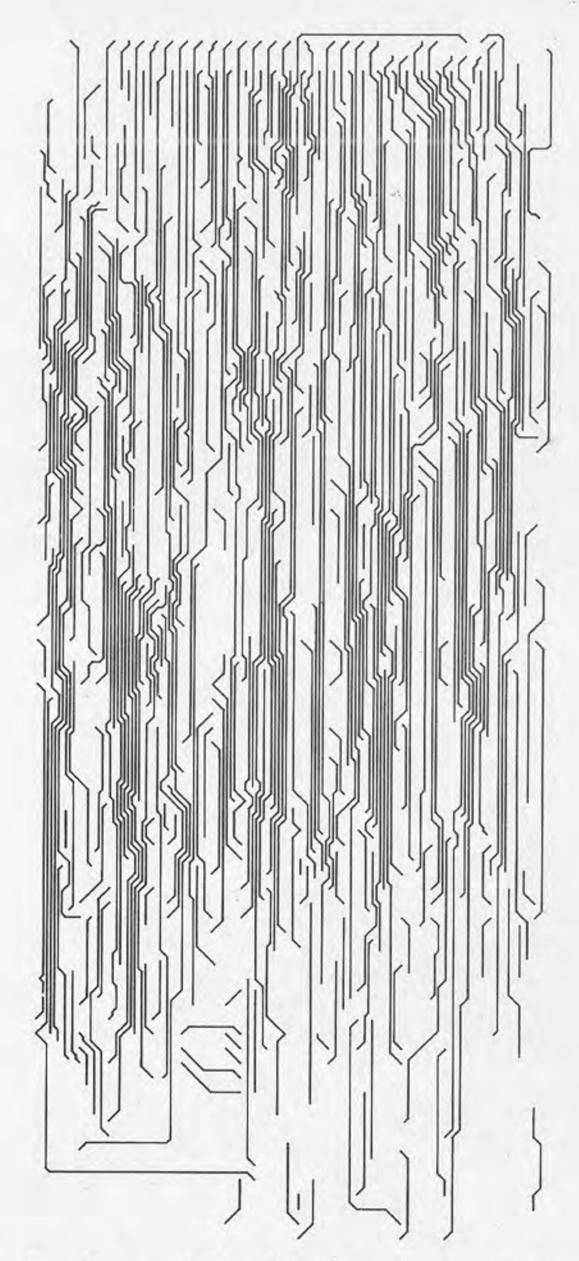


Figura 21.—Aspecto de la salida de un paquete de producción de circuitos impresos. De esta salida se obtiene directamente el negativo para la producción en serie de la placa (Cortesía de ERDISA).

Es importante, de cara a la selección de un paquete de diseño de PCBs, tener en cuenta el tanto por ciento de las pistas que es capaz de trazar automáticamente el sistema.

Todas las aplicaciones que existen para el trazado de PCBs generan una salida gráfica que permite realizar el negativo fotográfico de la placa para su producción en serie, completando con ello el ciclo Diseño-Fabricación.

Control Numérico

Como ya hemos comentado en anteriores ocasiones, es precisamente al Control Numérico al que es aplicable en toda su extensión el término CAM.

Cuando nos referimos a Control Numérico estamos designando una tecnología de fabricación que existía antes de la introducción del CAD/CAM, e incluso antes de la aparición de los ordenadores. Ya en el año 1942, la Bendix Corporation utilizó técnicas de Control Numérico (CN) para la producción de piezas.

Había de ser la aparición de los ordenadores la que extendiera el uso del CN al aportar la versatilidad de la Programación. A partir de entonces, el empleo del Control Numérico por la industria ha ido extendiéndose y en la actualidad podemos considerarlo como una herramienta estándar, equivalente, en definitiva, a la combinación de una "máquina-herramienta" convencional (torno, fresa, etc.) y un elemento hardware denominado *controlador* o *control*.

Este controlador consta de un teclado y un display de visualización, que sirven al operador para introducir las instrucciones que constituyen la secuencia de operaciones a realizar.

Dichas instrucciones pueden ser divididas en dos clases:

- Instrucciones de tipo geométrico: contienen los movimientos de la herramienta para lograr la forma del objeto.
- Instrucciones de tipo "tecnológico": contienen datos sobre el proceso, tales como velocidad de rotación de la herramienta, utilización del refrigerante, etc.

El conjunto de todas las instrucciones que constituyen las operaciones necesarias para realizar una pieza es lo que se denomina *programa de control numérico*. El Programa estará codificado según un conjunto de instrucciones que dependen de cada controlador, de tal forma que un programa producido para un Control no tiene, y en general no lo hará, que funcionar en otro.

La no existencia de un lenguaje de programación común llevó a la elección de lenguajes de alto nivel (APT, COMPACT II)

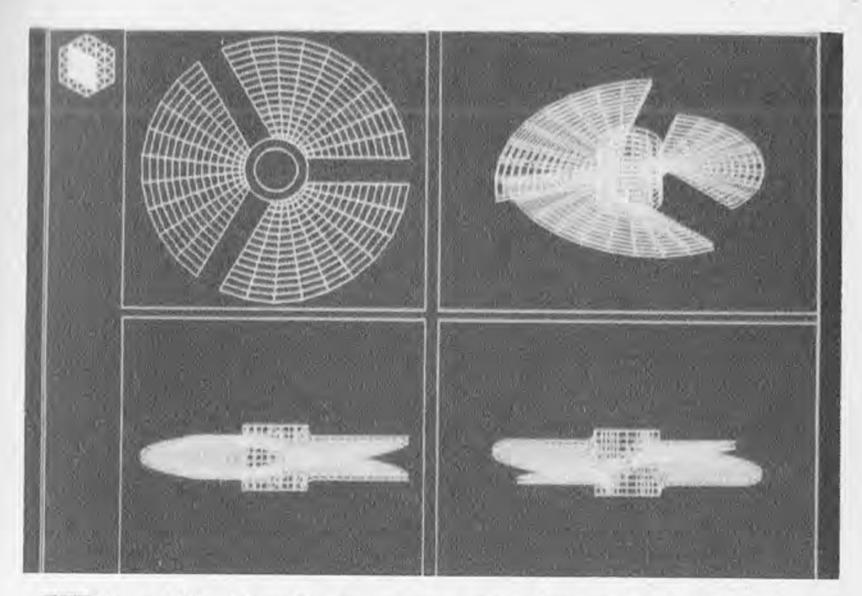


Figura 22.—Ejemplo de una geometría imposible de producir mediante Control Numérico sin la utilización del CAD/CAM (Cortesía de ERDISA).

que, en definitiva, describen la geometría de la pieza mediante una determinada sintaxis.

Los programas escritos en los lenguajes anteriormente citados son sometidos a otros programas específicos para cada controlador y máquina, denominados *postprocesadores* que dan salida a la secuencia de instrucciones en el lenguaje específico de cada control.

Una vez que el programa ha sido generado, existen dos procedimientos para su ejecución:

- Generar una *cinta perforada* que contiene las instrucciones y que es leída por el controlador y ejecutada a continuación.
- Una vez producido el programa en un ordenador, poner en comunicación ordenador y control, transfiriendo los datos de uno a otro para su ejecución.

Podemos, por tanto, resumir la secuencia de trabajo de un programador de Control Numérico en el siguiente esquema:

- Codificar en un lenguaje la geometría de la pieza.

- Introducir de acuerdo a su experiencia y a los requerimientos del diseño las instrucciones de tipo "tecnológico".
- Si se ha utilizado un lenguaje de otro nivel será necesario *postprocesarlo* y obtener el programa para la máquina y el control utilizados.
- Obtención de la *cinta* de Control Numérico.
- Carga en el Controlador del Programa.
- Prueba del programa y depuración de errores.

La aportación del CAD/CAM a la fabricación mediante Máquinas Herramientas de Control Numérico es, probablemente, la más espectacular y, desde luego, la más rentable económicamente hablando.

Según hemos visto, el Control Numérico, en cuanto tecnología de fabricación, permite la flexibilidad en la producción de diferentes piezas, asegurando la repetibilidad y garantizando de este modo la calidad del producto. Sin embargo, existe un problema para la aplicación de esta técnica, y no es otro que la introducción de la geometría del objeto a fabricar.

Imaginemos, por ejemplo, objetos como la carrocería de un automóvil, o una hélice: el número de puntos a introducir para definir con precisión la trayectoria es lo suficientemente elevado

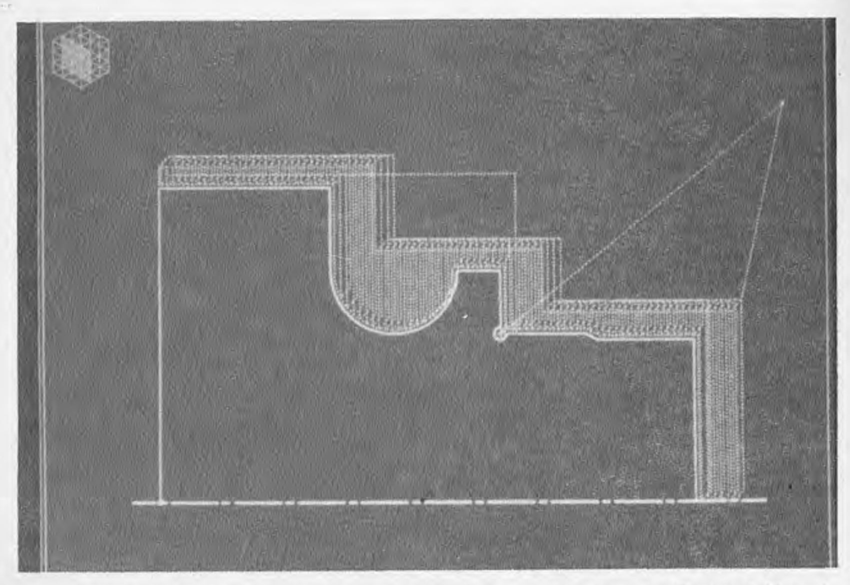


Figura 23.—Ejemplo de un programa para torno de Control Numérico, tal y como lo visualiza el operador (Cortesía ERDISA).

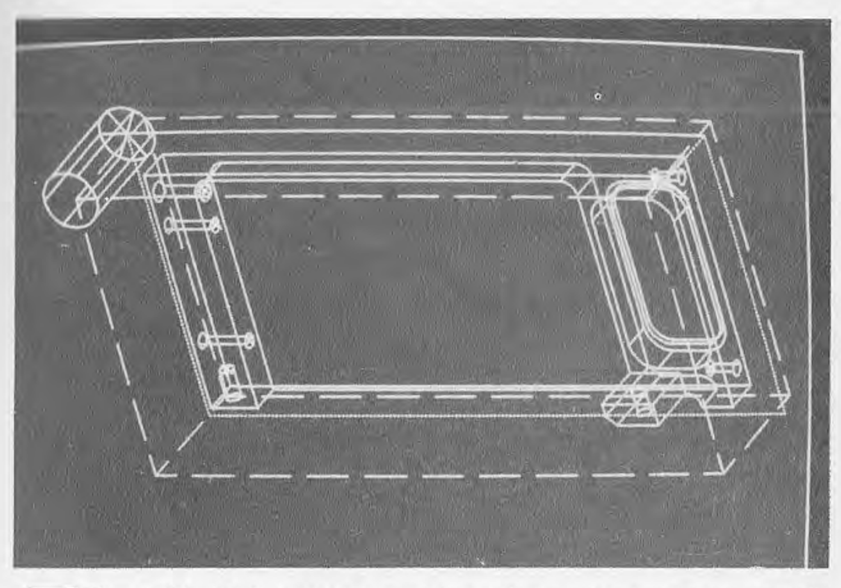


Figura 24.—El fresado de una pieza tal y como aparece en pantalla (Cortesía de ERDISA).

como para concluir que existen geometrías que resultan irrealizables en la práctica.

La utilización del CAD/CAM solventa esta dificultad al usar los datos geométricos introducidos en el proceso de diseño. El CAD/CAM se aprovecha de la descripción geométrica completa mediante un conjunto de aplicaciones específicas que generan la trayectoria de la máquina-herramienta para producir la pieza. Estos programas tienen en cuenta no sólo la geometría de la pieza, sino todas las características de la herramienta, como son:

- El tipo de máquina (fresa, torno...).
- El número de ejes de movimiento de la máquina.
- Los datos geométricos de la herramienta (dimensiones y forma).

Los programas actúan produciendo un fichero en el que se describe la secuencia de movimientos de la máquina en un determinado lenguaje (APT, COMPACT II, etc.). Una vez obtenido el fichero podemos editarlo con el fin de incluir las instrucciones de tipo "tecnológico" que se requieren en cada caso.

En definitiva, la utilización del CAD/CAM en el Control Numérico nos permite el aprovechamiento total de los datos del di-

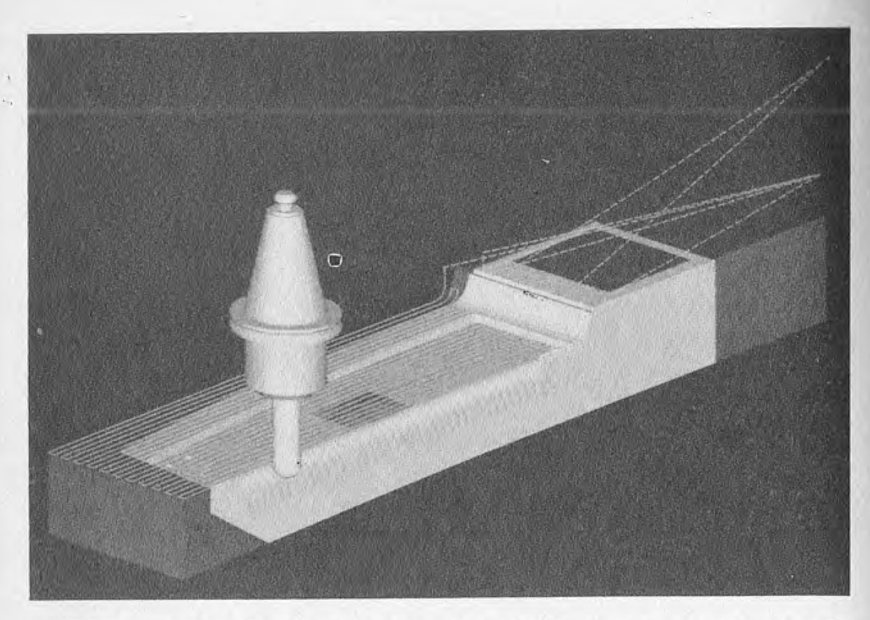


Figura 25.—Espectacular visualización de un proceso de fresado (Cortesía Intergraph).

seño y la generación automática del programa de Control Numérico libre de errores.

Esta última frase "carente de errores" era uno de los principales problemas con que el programador se encontraba, ya que no existía otro procedimiento de prueba que la realización física del producto, de lo que derivaban, como es lógico suponer, gran cantidad de accidentes y averías. El CAM resuelve este aspecto por partida doble: por una parte nos asegura que la descripción existente en el programa de Control Numérico corresponde a la geometría, y por otra permite al programador la posibilidad de visualizar simultáneamente en la Estación de Trabajo la pieza a obtener y la animación controlada de los movimientos de la herramienta. De esta forma el operador produce una pieza imaginaria y puede modificar el programa, si lo juzga oportuno, hasta obtener un proceso satisfactorio.

Robótica

La Robótica, al igual que la anterior aplicación, existía con anterioridad como actividad no ligada al CAD/CAM. A diferencia


```
PARTNOSUPERFICIE ANTERIOR
      TOOLNO/1.0000
      COOLNT/ON
      SPINDL/50.0000,CLW
      INTOL/0.0010
      OUTTOL/0.0010
      FEDRAT/100.0000
      GOTO/3.3041,1.8942,4.0000
      GOTO/3.3041,1.8942,3.8189
      FEDRAT/10.0000
      GOTO/3.5195,2.0177,3.7896
      GOTO/3.5529,1.9510,3.7888
      GOTO/3.5788,1.8811,3.7878
      GOTO/3.5970,1.8088,3.7866
      GOTO/3.6071,1.7349,3.7853
      GOTO/3.6090,1.6604,3.7838
      GOTO/3.6029,1.5861,3.7822
      GOTO/3.5886,1.5129,3.7808
      CIRCLE/2.9267,1.6793,3.7911,-0.0101,0.0218,-0.9997,0.6827
      GOTO/3.5665,1.4418,3.7795
           3.5368,1.3734,3.7783
           3.4998,1.3088,3.7772
           3.4560,1.2485,3.7764 $$ END OF ARC
      GOTO/3.4058,1.1934,3.7757
      CIRCLE/2.9281,1.6783,3.7929,-0.0123,0.0232,-0.9997,0.6809
      GOTO/3.3500,1.1441,3.7753
           3.2891,1.1012,3.7750
           3.2246,1.0656,3.7750
           3.1603,1.0384,3.7752
           3.0935,1.0180,3.7755
           3.0250,1.0045,3.7761 $$ END OF ARC
      GOTO/2.9554,0.9981,3.7768
      CIRCLE/2.9280,1.6795,3.7924,-0.0127,0.0224,-0.9997,0.6821
      GOTO/2.8856,0.9989,3.7777
           2.8162,1.0068,3.7788
           2.7480,1.0217,3.7800
           2.6816,1.0435,3.7813 $$ END OF ARC
      GOTO/2.6178,1.0720,3.7827
      GOTO/2.5573,1.1069,3.7842
      GOTO/2.5006,1.1478,3.7857
      GOTO/2.4484,1.1943,3.7870
      GOTO/2.4012,1.2458,3.7882
      GOTO/2.3596,1.3020,3.7892
      GOTO/2.3359,1.3404,3.7896
      GOTO/2.2850,1.4254,3.7896
      GOTO/2.2304,1.5094,3.7895
      GOTO/2.1727,1.5914,3.7895
      GOTO/2.1120,1.6711,3.7894
      CIRCLE/0.0008,0.0008,3.7894,-0.0026,-0.0024,-1.0000,2.6921
      GOTO/2.0484,1.7485,3.7894
           1.9820,1.8234,3.7894
           1.9128,1.8959,3.7894
           1.8409,1.9657,3.7894
           1.7666,2.0328,3.7894
           1.6897,2.0971,3.7895
           1.6106,2.1585,3.7895 $$ END OF ARC
      GOTO/1.5292,2.2169,3.7896
      GOTO/1.4880,2.2447,3.7896
      GOTO/1.4315,2.2866,3.7888
      GOTO/1.3799,2.3338,3.7878
      GOTO/1.3334,2.3860,3.7865
      GOTO/1.2925,2.4427,3.7851
      GOTO/1.2577,2.5032,3.7836
      CIRCLE/1.8665,2.8135,3.7897,0.0175,-0.0149,-0.9997,0.6834
      GOTO/1.2292,2.5670,3.7822
           1.2074,2.6334,3.7808
```

Figura 26.—Listado de un programa en APT obtenido automáticamente de la descripción geométrica del diseño.

del Control Numérico, la Robótica Industrial es una técnica relativamente más novedosa, pudiéndose considerar su nacimiento en el año 1960. Pero, ¿qué es la Robótica? O, más exactamente, ¿qué es un robot?

No es fácil dar una definición; podemos decir que un robot es una máquina automática que conjuga básicamente dos características:

— Es flexible y permite su adaptación a distintas actividades, admitiendo el trabajo con diferentes herramientas.
— Tiene un manejo sencillo.

Apoyada en las anteriores características, la definición indudablemente más exacta es la suministrada por el Instituto Americano de Robótica, según la cual "un robot es un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para el movimiento de ma-

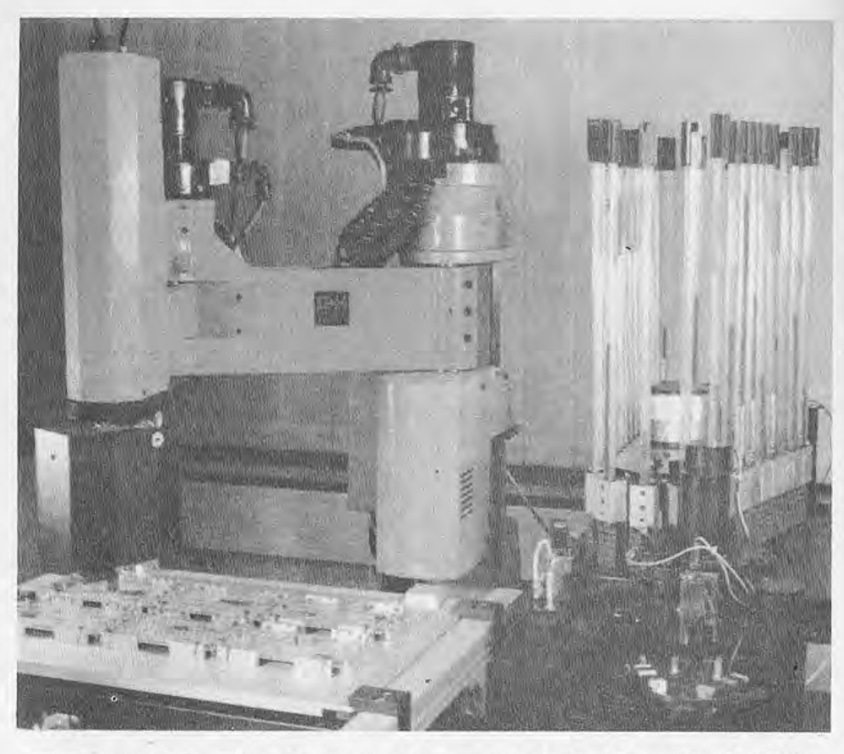


Figura 27.—Ejemplo de un robot manipulador (Cortesía de IBM).

teriales, piezas, herramientas, sensores o, en general, dispositivos que le permitan llevar a cabo tareas diversas".

Los robots son, por tanto, sistemas mecánicos cuyos movimientos vienen determinados por un ordenador. La flexibilidad de su utilización proviene de la versatilidad del programa de control.

El robot, hasta época muy cercana, ha estado asociado a elementos de ciencia-ficción y de dudosa aplicación industrial, a lo que contribuía, sin duda, el que los primeros que aparecieron no eran más que extraños artefactos de laboratorio, caros y que necesitaban para su funcionamiento ordenadores demasiado voluminosos.

La aparición del microprocesador, al reducir drásticamente volumen y precio, ha permitido que el robot entre de lleno en la actividad industrial, en la que desempeña actualmente un papel preponderante; así, por ejemplo, países como Japón o Estados Unidos poseen fábricas totalmente automatizadas.

El robot proporciona la flexibilidad necesaria para actuar como elemento integrador de las operaciones que realizan máquinas-herramientas de Control Numérico, evitando de esta forma el trabajo mecánico del hombre y agilizando el proceso global de fabricación.

Dada su versatilidad, existen diferentes tipos de robots, que podemos clasificar en los siguientes grupos:

- Robots inteligentes: son aquellos que tienen la capacidad de "reconocer" el mundo externo y tomar decisiones. Actúan como seres humanos dotados de una inteligencia dirigida a un propósito en particular. Este tipo de robots no tiene aún aplicación industrial; su futuro, bastante halagüeño por cierto, vendrá de la mano del desarrollo de la "Inteligencia Artificial" (tema que ha sido ya objeto de estudio en la B.B.I.).
- Robots con Control Computerizado: se diferencian con el grupo anteriormente citado por su incapacidad para el reconocimiento del mundo externo. Son, en algún sentido, máquinas-herramientas de control numérico no convencionales.
- Robots de aprendizaje: capaces de generar el contenido del programa automáticamente, haciéndole recorrer (la primera vez de forma manual) las trayectorias y movimientos que deseamos se automaticen.
- Manipuladores: los podríamos definir como "manos mecánicas". Se trata de dispositivos que permiten la realización de funciones que en nuestra vida cotidiana realizan las manos. La ventaja de su utilización revierte, sobre todo, en el

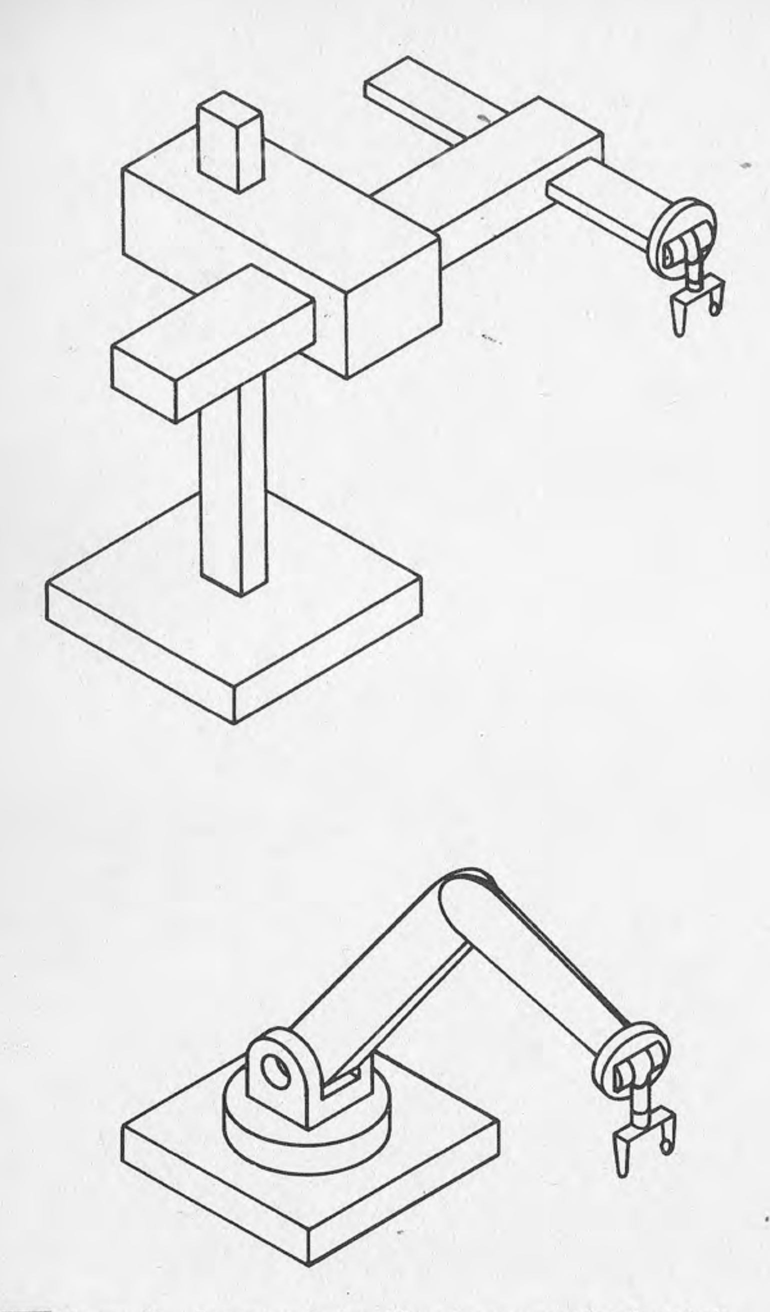


Figura 28.—Aspectos de las diferentes geometrías de robots.

aspecto de seguridad, al evitar que ciertas operaciones consideradas peligrosas sean realizadas por el hombre.

El movimiento de un robot viene determinado por su programa, el cual tiene en cuenta, por un lado, la geometría que describe el movimiento y, por otro, en el caso de robots inteligentes, las informaciones que suministran los diferentes sensores.

Existen diversos lenguajes para la codificación del programa, entre los más importantes tenemos el VAL y el AUPASS.

Los robots actúan sobre cuerpos tridimensionales, estando limitados los movimientos que pueden realizar por la superficie de éstos. El robot debe, por tanto, de alguna forma, conocer la geometría del objeto sobre el que va a actuar; ello nos coloca ante un problema similar al planteado en el caso del Control Numérico.

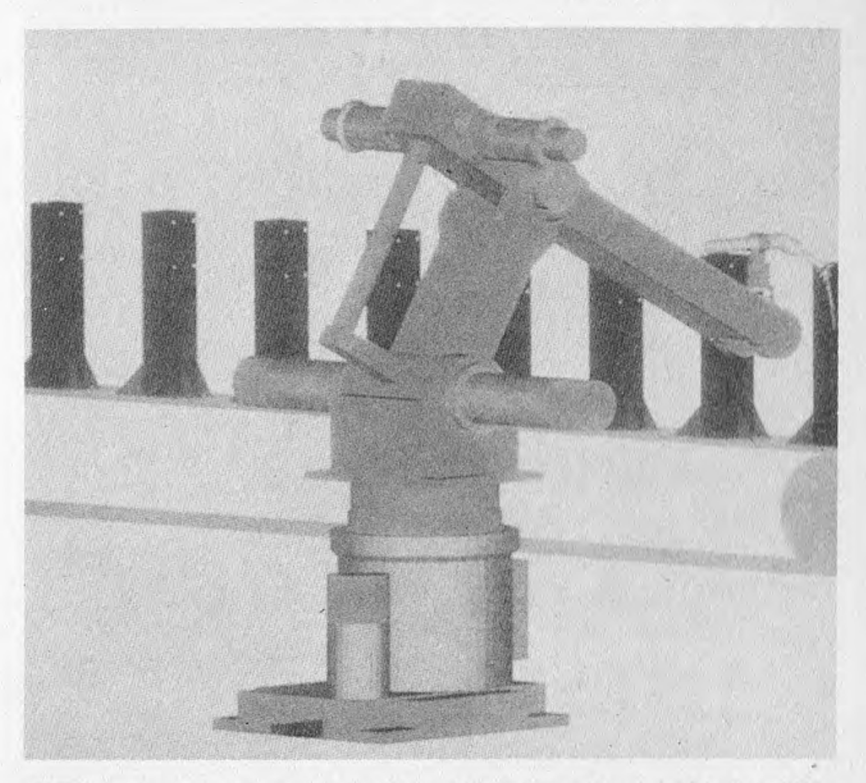


Figura 29.—Simulación de la acción de un robot de soldadura (Cortesía Intergraph).



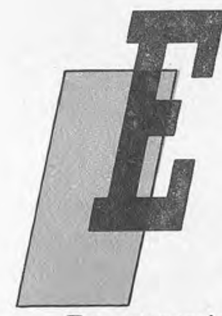
Figura 30.—Simulación de la acción de un robor de pintura (Cortesía de Intergraph).

La ventaja de la aplicación del CAD/CAM junto con la robótica no es otro que la aportación de la descripción geométrica como parte del diseño. Los programas de aplicación de robótica integrados con los sistemas de CAD/CAM permiten la utilización de los datos geométricos, así como la capacidad de visualización de las trayectorias del robot sobre el objeto.

Este tipo de utilización proporciona una mayor exactitud en las trayectorias del robot (tradicionalmente definidas por métodos de aprendizaje) al permitir la utilización de los datos geométricos sin la intervención de un operador humano.

CAPITULO IV

VENTAJAS DE LA UTILIZACION DEL CAD/CAM



El mundo del CAD/CAM maravilla a cualquiera por sus posibilidades. Sin embargo, el acceso a esta tecnología conlleva la adquisición de nuevos elementos, con sus consiguientes costes de aprendizaje.

El lector puede muy bien preguntarse por las ventajas, tanto económicas como de otra índole, si es que las hay, de la aplicación de esta tecnología.

Es necesario, desde luego, ponernos en guardia sobre las informaciones que acerda de rendimientos de los sistemas CAD/CAM circulan, y que pueden llevarnos a pensar que son una panacea o un remedio universal. Ciertamente no se trata de esto, sino de una tecnología, aún en sus fases iniciales, con indudables y probadas virtudes, aunque también con unos no menos indudables costes que es necesario conocer y evaluar cuando tratemos de tomar una decisión sobre una posible implantación.

Con el fin de poder juzgar su aplicación y utilidad pasaremos a describir el proceso de creación de un producto, intentando detectar las ventajas derivadas de su uso.

Etapas en la elaboración de un producto

El proceso comienza con la "cristalización" de la idea principal en la mente de un diseñador. Durante esta fase del proceso se formulan las propiedades a conseguir, las ideas principales de su funcionamiento y un cierto aspecto geométrico del objeto a obtener.

Producto de esta fase, que denominaremos de *concepción y definición* son los documentos de Definición, en los que se exponen los principios físicos en los que se va a basar el desarrollo del producto y los bocetos sobre su geometría.

Normalmente, cada una de las ideas surgidas en el proceso de Concepción es sometida a un análisis de Viabilidad con el fin de estimar las posibilidades reales de su desarrollo y su coste aproximado. Una vez obtenido un documento completo sobre la fase de Concepción, estamos en disposición de comenzar propiamente su diseño.

En la fase de diseño se genera todo el conjunto de documentos y pruebas que permitan fabricar el producto y definir sus características y modos de operación. Las ideas iniciales, fruto de la fase de concepción y, en particular, las ideas geométricas, son plasmadas aquí en un conjunto de planos que reflejan, bajo determinadas perspectivas, los objetos tridimensionales a diseñar.

Este proceso es una de las tareas que más tiempo consumen en el proyecto, ya que debido a la naturaleza bidimensional de los planos se necesitan con frecuencia diferentes vistas o proyecciones de los objetos para poder poner a punto un diseño. Baste pensar en la determinación de las posibles interferencias entre piezas de geometrías complejas.

Una vez obtenidos los planos se procede al acotado de los mismos, quedando así preparados para la elaboración del primer *prototipo*. El prototipo fabricado se somete a un conjunto de pruebas que modificarán el diseño inicial en el supuesto de que no sean pasadas satisfactoriamente, repitiéndose el ciclo hasta la obtención de un prototipo válido, con lo que finaliza la fase de diseño.

Comienza a continuación la fase de *fabricación* que persigue los siguientes objetivos:

- Descomponer en sus sucesivas fases los procesos necesarios para la fabricación de la pieza.
- Definir cada una de las fases mencionadas (tipo de fresado a emplear, número de pasadas, etc.).
- Preparar los planos de utillajes y plantillas de verificación para las piezas fabricadas.

Para el lector no introducido en este tema conviene aclarar que normalmente no existe correlación entre los procesos que dieron lugar al prototipo y los utilizados en la fabricación en serie. Esto es así en razón de su coste, ya que el número de prototipos es siempre reducido, mientras que las piezas obtenidas en un proceso en serie deben tener un precio que las haga competitivas en el mercado.

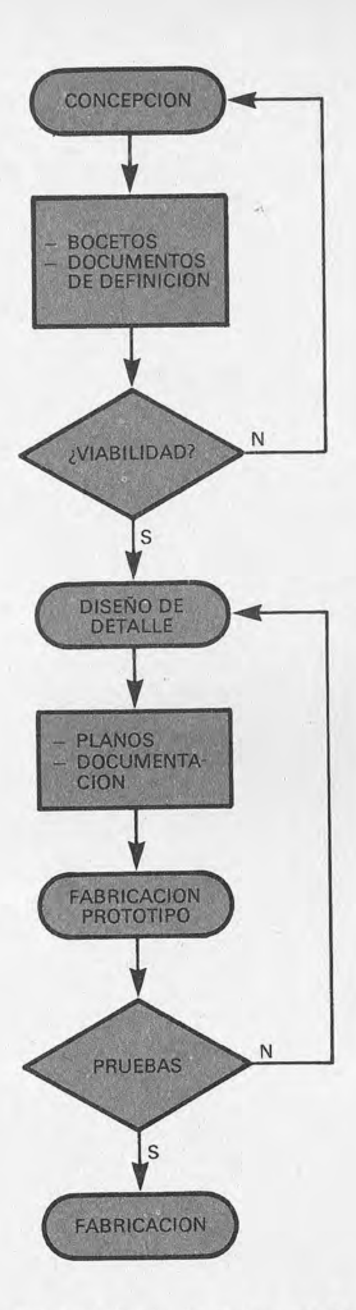


Figura 1.—Diagrama de Flujo de la fase de Diseño.

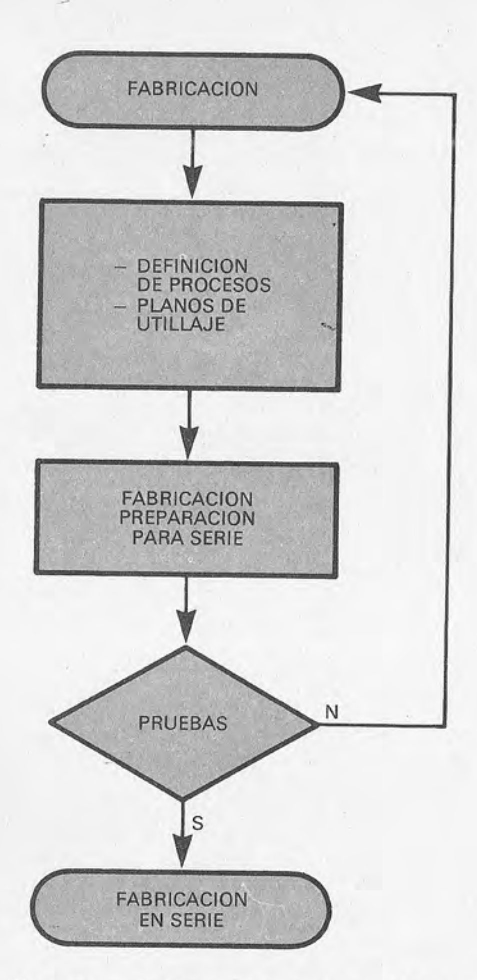




Figura 2.—Diagrama de Flujo de la fase de Fabricación.

Nos encontramos, por tanto, ante un nuevo problema de Ingeniería. Ya no se trata del diseño del objeto, pues ya existe, sino de cómo fabricarlo en serie manteniendo sus especificaciones.

En el proceso de fabricación, una vez definidas las etapas y preparados los planos se entra en un período de pruebas que se denomina "Preparación para la serie". En este período se evalúan desde un punto de vista de calidad las piezas producidas y se proponen, si es necesario, modificaciones. Una vez el proceso es conforme la fabricación en serie comienza.

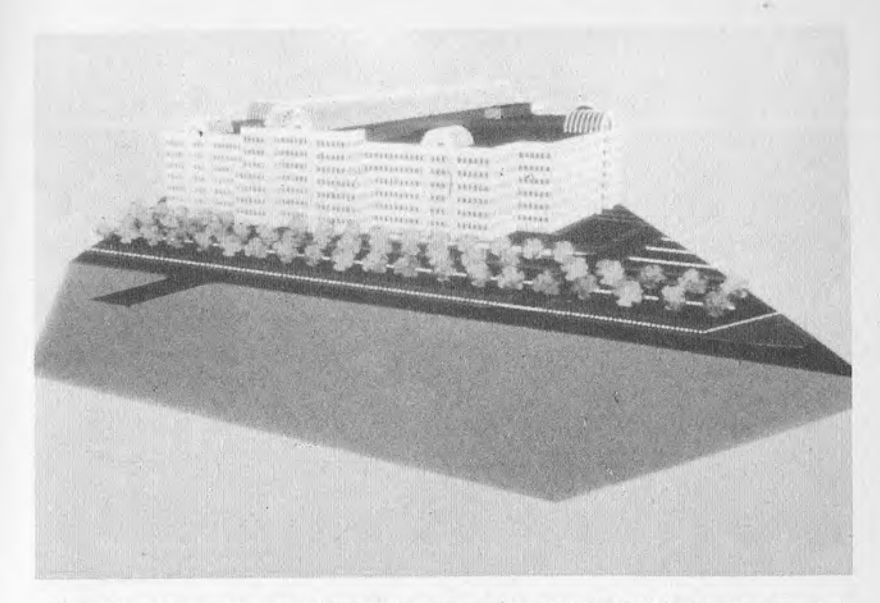


Figura 3.—Un ejemplo de la aplicación del CAD/CAM a la arquitectura (Cortesía de Intergraph).

Posibilidades del CAD/CAM en cada etapa

Hemos descrito brevemente las fases de un proceso de Ingeniería desde la idea inicial a la fabricación en serie de la pieza diseñada. Existen disciplinas que no utilizan de forma completa este proceso, como puede ser el caso de la Arquitectura, pero, en general, sus fases son de aplicación universal.

Intentaremos incidir en las dificultades puestas de manifiesto en esta descripción, y trataremos de valorar las posibilidades de solución de las mismas mediante la aplicación del CAD/CAM.

En la concepción

En esta primera fase lo único que existe es una idea en la mente del diseñador que es necesario poder comunicar con el fin de estudiar su viabilidad. La dificultad principal, en el caso de las ideas geométricas, es la incapacidad de una representación tridimensional simple. Hasta ahora esta dificultad se resolvía mediante los modelos a escala, que siempre son costosos y lentos de producir.

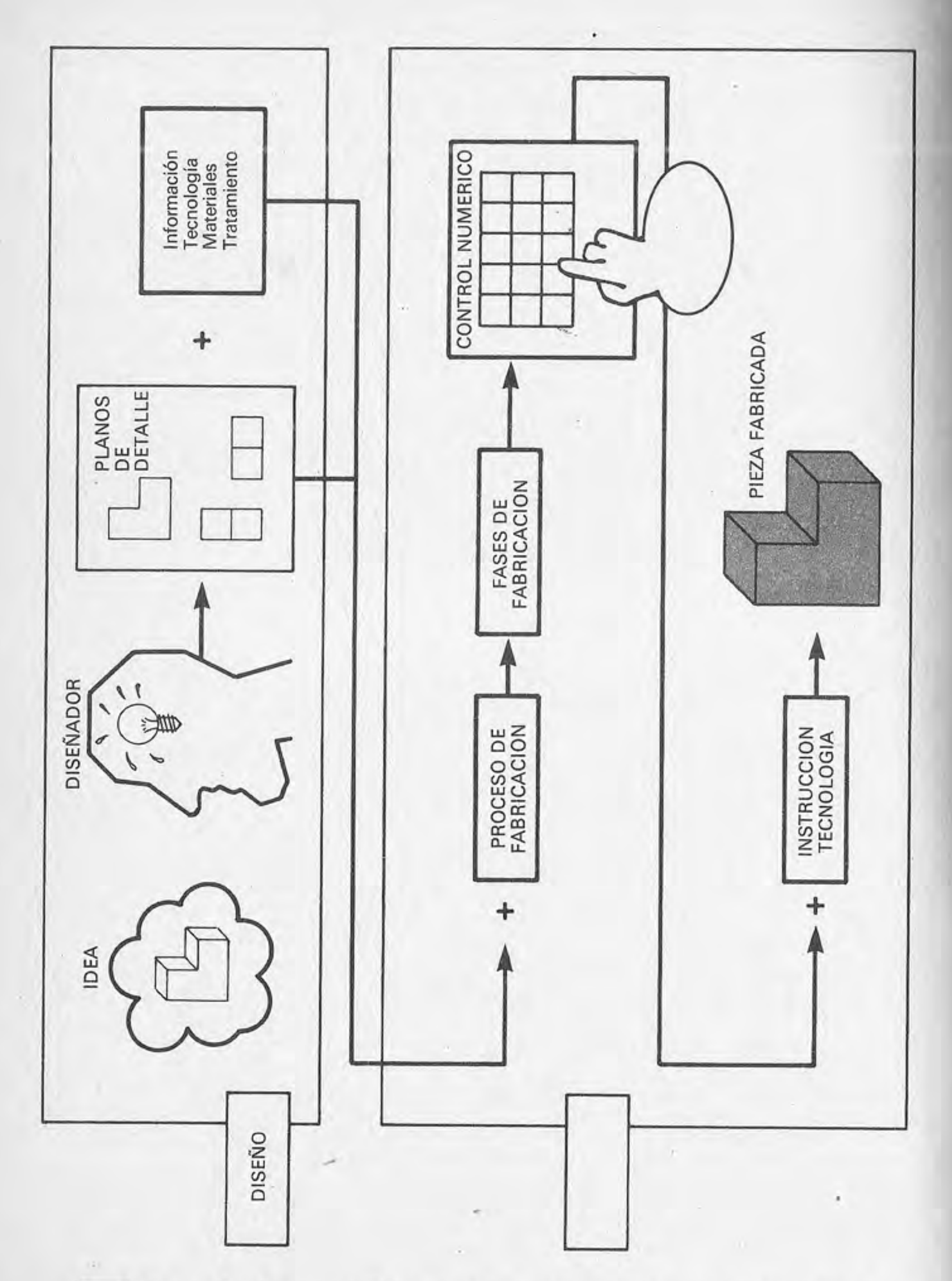


Figura 4.—Esquema ilustrativo de las distintas fases del proceso de producción convencional, es decir, sin la utilización del CAD/CAM.

El CAD/CAM permite que el diseñador dibuje su modelo tridimensionalmente en su Estación de Trabajo. El modelado, más que el dibujo, puede contener una representación completa (caso del Modelado Sólido) y proporcionar al diseñador datos que le permitirán determinar la viabilidad de su idea, tales como centro de masa, tensor de inercia, volumen y masa del objeto.

Por otra parte, el objeto puede ser analizado mediante técnicas de Elementos Finitos con el fin de obtener su comportamiento frente a las condiciones de trabajo. La existencia del CAD/CAM potenciará esta posibilidad al facilitarnos la introducción de la geometría y la visualización gráfica de los resultados.

También es posible la utilización de paquetes de animación cinemática que permiten simular el comportamiento de mecanismos y sus posibles interferencias.

Todo ello se realizará por el diseñador o equipo de diseño utilizando exclusivamente la Estación de Trabajo, y pudiendo introducir de forma interactiva las modificaciones pertinentes.

Ahora bien, es preciso recordar que el proceso anteriormente descrito es sólo posible parcialmente, ya que las técnicas de modelado sólido no están en la actualidad completamente desarrolladas. La aplicación de las técnicas de modelado sólido pueden realizarse, no obstante, utilizando representaciones aproximadas, como las proporcionadas por el método de las primitivas, que nos permiten la modelización simplificada del diseño.

En el diseño

La fase de diseño, también denominada Diseño de Detalle, es hoy por hoy la más accesible a las beneficiosas aportaciones del CAD/CAM. En esta fase se pasa de las ideas y cálculos de Concepción a los tradicionales planos.

Si bien el Modelado Sólido, como hemos señalado con anterioridad, no es sino una esperanza cercana, las representaciones tridimensionales de objetos mediante superficies son un hecho real. Por tanto, la fase de Diseño estará dominada por las representaciones de superficies y, en algunos casos, también por los modelos en jaula de alambres.

Los planos tradicionales se obtendrán de forma casi automática a partir de los modelos tridimensionales: igualmente las operaciones tediosas de acotado y anotación se simplifican notablemente y a veces, se automatizan.

Las ventajas derivadas de la utilización del CAD/CAM en esta fase son:

- Permite un mejor diseño gracias a la posible representación tridimensional del objeto.

- Ahorro de tiempo en la realización de las modificaciones.

El lector puede quedar sorprendido por la falta de ventajas de tipo económico por cuanto, si bien es cierto que existen reducciones en el tiempo de diseño, no son fácilmente evaluables y dependen de cada tipo de trabajo. Ahora bien, algunas ventajas económicas son incuestionables; tal es el caso de la mayor competitividad de un mejor diseño y de la posibilidad de producir elementos que con las tecnologías convencionales resultan "impensables".

También es necesario desmitificar el argumento basado en el ahorro del personal necesario para el diseño en función de la productividad alcanzable por la utilización de estas tecnologías. Es verdad que se produce un aumento de productividad, pero no en los valores que se pretenden. Por contra, lo que se potencia con el empleo de esta tecnología es la realización de diseños más adecuados y de geometrías más complejas que necesitan de profesionales y equipos más capaces.

Recapitulando, las ventajas obtenidas en las dos fases vistas son:

- Posibilidad de un mejor diseño.
- Reducción del tiempo necesario para la Concepción Inicial.
- Posibilidad de estudiar más alternativas.
- Facilidad en las modificaciones al Diseño.

Todas estas mejoras se traducen en la reducción del tiempo "utilizado" en el diseño, también denominado "Ciclo de Diseño". Paradójicamente, esta reducción no supone necesariamente una reducción global del tiempo "invertido en diseño", ya que el tiempo ganado se emplea en estudiar más posibilidades y, en definitiva, en mejorar la calidad del producto.

En la fabricación

Es aquí donde adquiere su verdadera dimensión la rentabilidad económica del CAD/CAM y, además, se puede afirmar que esta fase es perfectamente operativa en el momento actual.

El proceso de fabricación varía con el tipo de elemento a fabricar, y con las técnicas empleadas distinguimos, según ello, los siguientes tipos de Industrias:

- Industria Mecánica.
- Industria de Plásticos.
- Industria Electrónica.

Con estas tres divisiones cubrimos casi todo el espectro industrial, tal como en la actualidad se configura. En el caso de la Industria Electrónica los mismos paquetes de aplicación que sirven para el diseño y "rutado" de los circuitos producen como salida los negativos de las placas necesarios para su fabricación. La aplicación, como vemos, es directa y completa.

El caso de la industria de plásticos centra su principal atención en la fabricación de los moldes para la inyección de las piezas. Este aspecto se soluciona a través de la industria mecánica.

El campo que nos va a ocupar más a fondo es el de la industria mecánica que, por otra parte, es el más importante en cuanto a volumen se refiere.

Dentro de la industria mecánica podemos distinguir dos tipos de aplicaciones:

- La mejora mediante la utilización de técnicas de Control Numérico en las máquinas-herramientas convencionales.
- Las derivadas de la utilización de robots y células de fabricación flexible. Estas son, en muchos casos, casi un producto de ciencia-ficción, sin embargo, nos consta que existen aplicaciones puntuales en las que han revelado una gran eficiencia.

Dentro de las primeras, la aplicación del CAD/CAM a máquinas-herramientas de Control Numérico nos permite:

- El aprovechamiento completo de la descripción geométrica realizada en la fase de diseño.
- La realización automática de los programas de Control Numérico una vez suministrados los datos característicos de la máquina-herramienta.
- La visualización de las acciones realizadas por los programas generados, permitiendo con ello la realización de modificaciones y pruebas en la Estación de Trabajo.

Estas posibilidades se traducen en:

- Ahorro de tiempo en la codificación de programas de Control Numérico, ya que éstos son generados automáticamente.
- La inexistencia de errores en la programación y el consiguiente ahorro determinado por los accidentes a que éstos dan lugar.
- La posibilidad de fabricación de geometrías que, de otra forma, hubiera sido imposible realizar mediante Control Numérico.

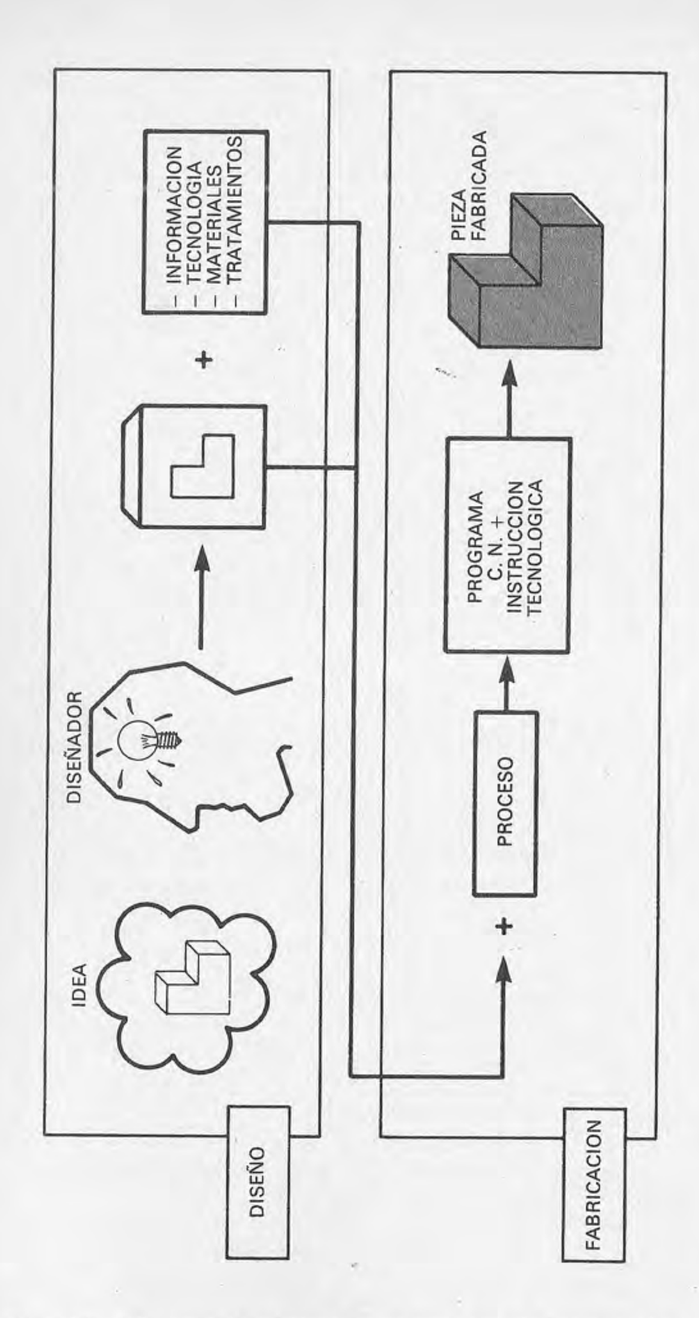


Figura 5.—Esquema ilustrativo de un proceso de producción con utilización de la tecnología CAD/CAM.

Las ventajas descritas son muy concretas y se refieren a procesos puntuales; existen otras que son bastante impalpables: nos referimos a las derivadas de las posibilidades organizativas que el CAD/CAM potencia. La posibilidad de compartir datos, como la puesta de manifiesto entre Diseño y Fabricación en este capítulo, nos permite augurar la tendencia a una mayor integración entre las distintas fases e individuos que participan en el proceso de Producción. La tendencia apuntada será objeto de un capítulo posterior, ya que hoy por hoy es sólo una posibilidad que apenas ha comenzado a surgir.

Costes del soporte CAD/CAM

Ya hemos cumplido nuestro propósito de determinar las ventajas de su aplicación, pero ¿qué podemos decir de sus costes? Su principal coste, aparte, naturalmente, del propio del equipo informático, es el determinado por el aprendizaje de su manejo.

Una vez más debemos poner en guardia al lector sobre las informaciones que aseguran la posibilidad de utilización a pleno rendimiento en plazos cortos. Se puede estimar que serán necesarios al menos seis meses de aprendizaje por parte de un usuario motivado para que pueda manejar la herramienta de forma autónoma.

Transcurrido este tiempo se deberá someter al usuario a cursos de reciclaje para aumentar los conocimientos adquiridos y modificar los vicios derivados de un uso incorrecto.

Los cursos deberán ser impartidos por personal que conozca simultáneamente el CAD/CAM y los problemas existentes en el proceso de producción, ya que de lo contrario se produciría un evidente divorcio entre los alumnos y el profesor, de difícil solución.

Es necesario que el aprendizaje no sólo incida en los diferentes comandos y posibilidades de la aplicación, sino que contemple aspectos metodológicos, ya que en muchos casos se tiende a la utilización del sistema con métodos anticuados que derivan en bajos rendimientos. Finalmente, es importante la elección cuidadosa del personal participante en los cursos para evitar el rechazo psicológico.

De lo anteriormente expuesto se extrae la conclusión de que los costes y los riesgos del CAD/CAM aparecen fundamentalmente en la fase de Implantación. De hecho, podemos afirmar que una vez pasada esta fase (dos o tres años) las ventajas de la aplicación de la tecnología hacen su aparición y permiten recuperar la inversión en un corto espacio de tiempo.

Es necesario que la fase crítica de Implantación sea objeto de cuidadosa y realista evaluación, pues los costes de aprendizaje son normalmente superiores al propio equipo. La contratación, durante esta fase, de empresas con experiencia puede disminuir el riesgo y asegurar las futuras ventajas.

CAPITULO V

NECESIDAD DE UNA ESTANDARIZACION

Los sistemas CAD/CAM anteriormente descritos facilitan las operaciones que realizamos con entidades de tipo gráfico, favoreciendo de esta forma el diseño de objetos, así como su fabricación. Sin embargo, entendida la actividad industrial de una forma global, es necesario poder comunicar nuestros datos gráficos entre los diferentes sistemas.

Antes de la aparición del CAD/CAM, y aún hoy, el método más usual de comunicación de información era el plano, si bien, y como hemos expuesto en capítulos anteriores, no contiene toda la información geométrica que permita definir de forma unívoca el modelo tridimensional. Por otra parte, la utilización de planos en este momento equivaldría a que éstos deberían ser introducidos de nuevo en el sistema receptor.

Es, pues, necesario, establecer un mecanismo que permita que la información generada en diferentes sistemas CAD/CAM pueda ser compartida.

Causas de incompatibilidad

Pasaremos a continuación a determinar en qué puntos un sistema de CAD/CAM puede ser incompatible con otro.

Para el funcionamiento de un sistema CAD/CAM necesitamos:

1. Un operador que interaccione con una Estación de Trabajo.
2. Un sistema informático que reciba las órdenes de la Estación de Trabajo y las codifique convenientemente.

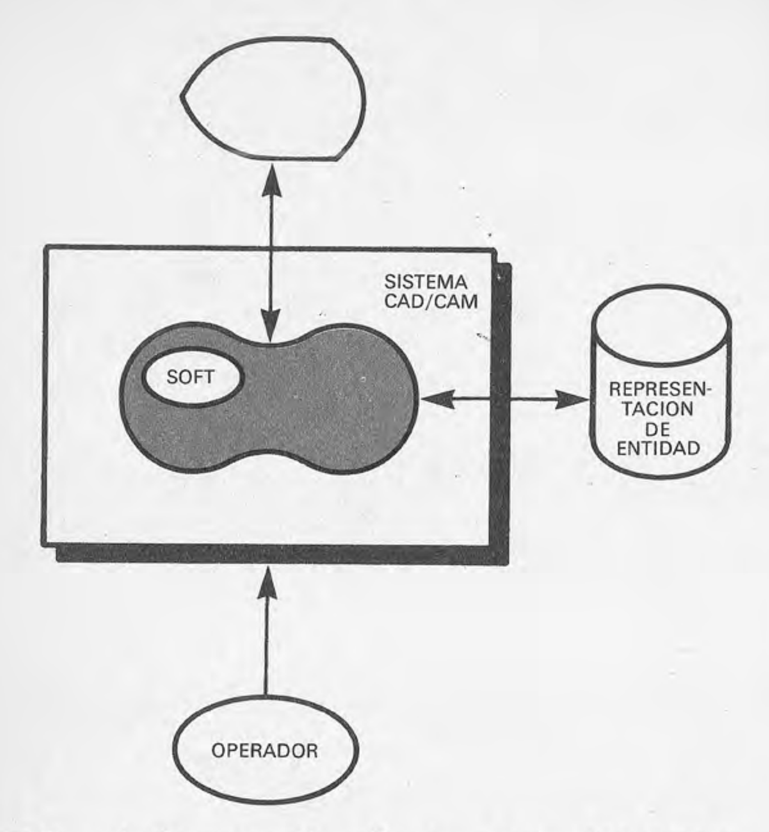


Figura 1.—Representación gráfica de un sistema CAD/CAM. Observe la doble interacción entre el sistema informático con el Terminal Gráfico y con el Archivo de Entidades.

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- El operador se comunica con la Estación de Trabajo dándole órdenes que suponen la creación o modificación de entidades gráficas. Una orden puede ser, por ejemplo: "Dibujar una circunferencia de centro (0,0) y radio 2".
- La orden es analizada por el sistema informático, que realizará a continuación dos acciones:
  - — Visualizar la entidad creada o modificada en el Terminal Gráfico.
  - — Codificarla convenientemente e introducirla en la memoria del ordenador.

Estas dos acciones implican dos formas de comunicación, a saber:

- Comunicación entre la aplicación y el Terminal Gráfico para la representación de la entidad.
- Comunicación entre la realidad geométrica y su representación informática, que es la responsable de las incompatibilidades de los sistemas CAD/CAM.

La aplicación de CAD/CAM tiene que contemplar entre sus características el diálogo con el Terminal Gráfico, de manera que éste muestre figuras que el operador identifique con la entidad a dibujar. El diálogo se realiza ordenando al Terminal el dibujo de entidades elementales de acuerdo con una determinada sintaxis.

Era, pues, necesario establecer un lenguaje único que proporcionara simultáneamente las entidades elementales y la forma de invocarlas. Este estándar, actualmente universal, es el denominado GKS (Graphics Kernel System), que es el encargado de normalizar el diálogo aplicación-terminal.

El segundo problema es más complejo y aún está lejos de resolverse. Según hemos visto, el ordenador recibe órdenes que obligan a la aplicación a realizar operaciones de creación y modificación de entidades gráficas. La aplicación, para su manejo y archivo, codifica convenientemente la entidad, de forma que establece una correspondencia entre el mundo externo y la representación interna utilizada. Cada fabricante de software utiliza diferentes representaciones e incluso diferentes entidades o formas de invocarlas.

Así, por ejemplo, en el caso citado anteriormente, una posible representación para la circunferencia sería:

Código de Entidad	Abcisa Centro	Ordenada Centro	Radio
0 1 0	0	0	2

Ciertamente podríamos pensar en cualquier otra representación, y es precisamente en esta libertad en la que se asientan las dificultades de comunicación entre los sistemas de CAD/CAM.

La dificultad es mayor de lo que a primera vista pudiera parecer, ya que hay sistemas que utilizan entidades diferentes, pudiendo ocurrir que no siempre sea sencillo encontrar la equivalencia entre sistemas, presentándose un problema de pérdida de información.

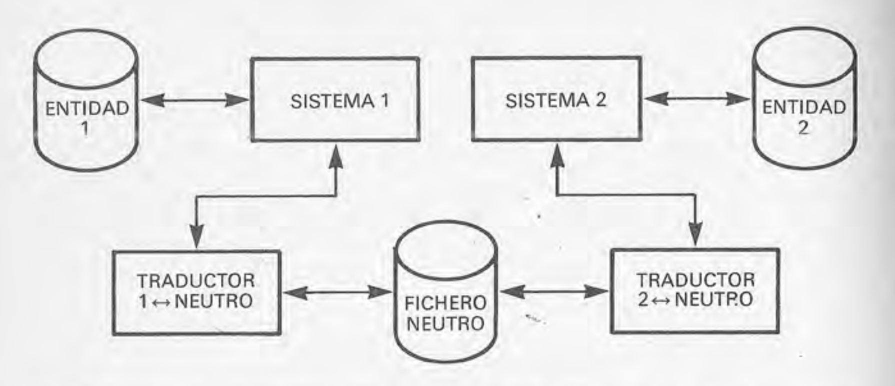


Figura 2.—Esquema de comunicación entre diferentes sistemas CAD/CAM.

El formato neutro

Teniendo en cuenta que las aplicaciones de CAD/CAM existían de antemano y que los diferentes fabricantes, movidos por razones comerciales, no tenían intención de llegar a un acuerdo, la única solución posible era la definición de un lenguaje común, que denominaremos formato neutro, y el desarrollo de aplicaciones que permitieran el paso desde cualquier formato particular al neutro y viceversa.

Dicho "formato neutro" había de cumplir el requisito fundamental de asegurar la integridad de la información en los procesos de traducción.

Este método, que, como más adelante veremos, existe en la actualidad funcionando parcialmente, presenta los siguientes problemas:

- El formato del fichero neutro ha de ser actualizado con el fin de incorporar nuevas entidades.
- La dificultad de poner de acuerdo a la comunidad internacional, tan dividida por intereses comerciales, en la adopción del formato elegido.

Normalización: hacia un único estándar

Pese a todos los problemas, existen varios estándares definidos y la intención, cuando menos, de converger a uno único.

Los estándares a que haremos mención han sido desarrollados por sociedades y organizaciones internacionales de normalización y estandarización que se encargan de las tareas de homologación de los distintos productos.

El primer estándar fue el denominado IGES (Initial Graphics Exchange Specification) desarrollado por el NBS (National Bureau of Standards), y que apareció en su versión V1.0 en el año 1980. Existen de él diferentes versiones y es origen de todos los estándares que se han desarrollado hasta la actualidad.

En los comienzos de 1981 el IGES V1.0 fue adoptado como norma americana con el nombre de Y14.26M por el ANSI (American National Standard Institute).

En aquellos momentos estos estándares contemplaban fundamentalmente las descripciones en modelo de jaula de alambres de los objetos, pero obviamente era necesario contemplar la descripción de superficies. Fruto de esta necesidad aparecen en el año 83 dos estándares: una nueva versión de IGES, el denominado IGES V2.0, y un estándar nuevo derivado de la norma Y14.26M desarrollado por VDA (Verband Der Automobilindustrie, la sociedad Alemana de Fabricantes de Automóviles) con el nombre de VDA-FS (VDA-Flachenschnittstelle). Este nuevo estándar VDA-FS se adoptó globalmente dentro de la industria alemana de automoción, ya que contenía importantes mejoras dentro del capítulo de superficies.

Las necesidades específicas y aún no resueltas, sobre todo en el capítulo de superficies, de la industria aeronáutica llevaron a la empresa francesa Aeropatiale al desarrollo de un nuevo estándard: el SET V1.1 (Standard D'Echange et de Transfert) que apareció en el año 1984. En el mismo año el Instituto Alemán de Normalización, el célebre DIN (Deutsches Institute für Normung), adoptó como norma propia el VDA-FS.

Finalmente, el último año hemos asistido a la presentación de la última versión del IGES: la V3.0.

La situación actual puede ser resumida de la siguiente forma:

- La mayoría de los sistemas CAD/CAM existentes, al ser su procedencia americana, vienen dotados del IGES V2.0.
- Existen ramas industriales muy importantes para el mercado del CAD/CAM, como son la industria automovilística y aeronáutica, que han desarrollado y adoptado., al menos en Europa, estándares propios.

Como se ve, esta situación está lejos de ser satisfactoria. La necesidad de establecer un acuerdo para el desarrollo de un estándar mundial que asegure la comunicación de la información ha llevado a la organización ISO (International Standard Organization) a constituir un comité con representaciones de las seis naciones que más intensamente se han destacado en sus actividades de es-

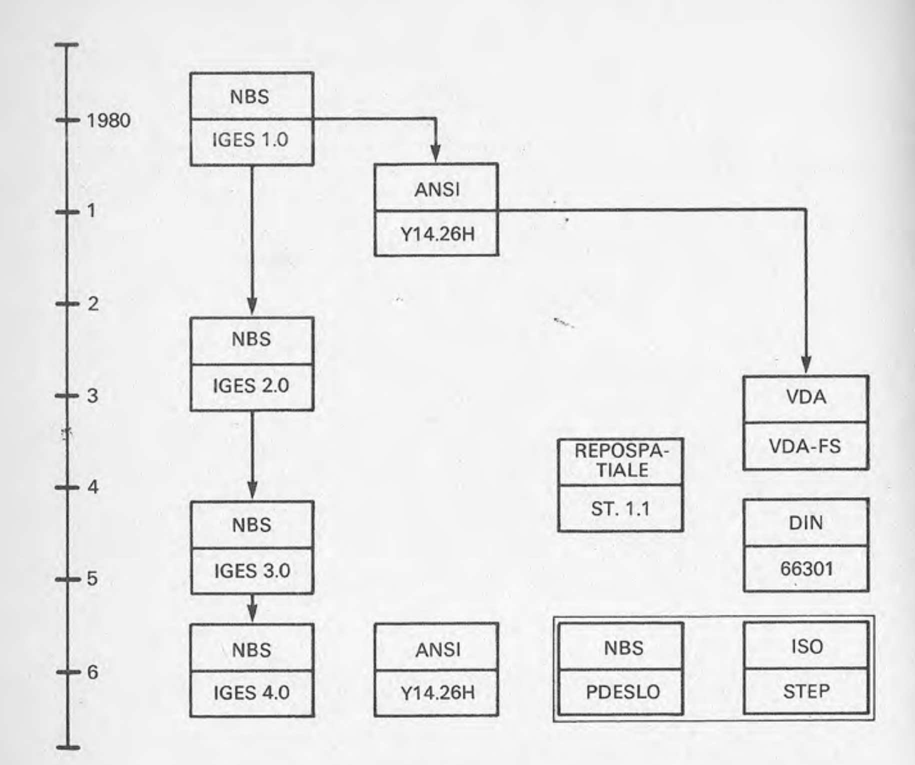


Figura 3.—Representación gráfica de los diferentes estándares de intercambio de información gráfica. En cada casilla figuran la organización creadora y el nombre del estándar.

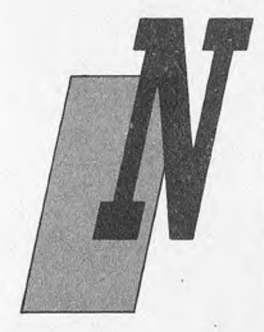
tandarización y normalización: Estados Unidos, Alemania Federal, Japón, Francia, Canadá y Reino Unido.

El propósito de este comité, no es otro que la definición de un estándar único denominado STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data). El citado estándar deberá utilizar los conocimientos derivados de todos los anteriores estándares operativos y evitar sus errores y limitaciones.

Desgraciadamente, los trabajos que conducirán a la formulación de STEP están en sus comienzos, y la tan ansiada unificación, con toda probabilidad, no se producirá antes de 1988.

CAPITULO VI

EL MERCADO DEL CAD/CAM



os enfrentamos en el presente capítulo al problema —nada sencillo, por otro lado— de informar al lector sobre distintas soluciones CAD/CAM presentes hoy día en el mercado, y de proporcionarle al tiempo una serie de "referencias" o "claves" que le ayuden a determinar —en el caso de una hipotética "compra"— la selección de un proveedor en particular.

Tipos de sistemas CAD/CAM y características

Los sistemas de CAD/CAM pueden ser divididos en tres grandes grupos:

- Sistemas "llave en mano" o "turn-key". Son sistemas diseñados específicamente para una aplicación de CAD/CAM.
- Sistemas basados en ordenadores de propósito general. Se utiliza un ordenador convencional al que se le dota de un software específico.
- Sistemas monopuesto, basados en microordenadores.

Estableceremos a continuación cinco características diferenciales de orden muy general que permitan establecer diferencias entre las soluciones citadas. Dichas características son:

- Especificidad, es decir, la posibilidad o no de ser utilizado con otros propósitos distintos del CAD/CAM.

- El tipo de ordenador utilizado.
- Potencia, entendida como el número de Estaciones de Trabajo que pueden soportar en unas condiciones estándar.
- Distribución geográfica. La capacidad de que las diferentes Estaciones de Trabajo puedan estar o no alejadas del procesador central.
- Capacidad de integración, en el sentido de la capacidad de utilización de un mismo conjunto de datos para diferentes aplicaciones.

Las características fundamentales de los sitemas "llave en mano" son:

- Su uso: es específico para la aplicación para la que están concebidos.
- El ordenador utilizado, que es, en general, de 16 ó 32 bits, y que en muchos casos se trata de la adaptación de un ordenador de propósito general.
- El número de Estaciones de Trabajo por procesador, que es habitualmente pequeño (4 a 6).
- La localización de las Estaciones de Trabajo, que ha de ser muy próxima al área del procesador.
- Su capacidad de integración, que suele ser bastante completa refiriéndose a las aplicaciones de tipo gráfico, para las que están exclusivamente concebidos.

En el caso de los sistemas de "propósito general" las características que los definen son:

- Su uso para aplicaciones CAD/CAM, determinado por un software específico, pudiendo ser utilizado para todo tipo de aplicaciones como cálculo científico, gestión, etc.
- El número de Estaciones de Trabajo, dependiente de la capacidad del procesador, siendo generalmente mayor que para los sistemas "llave en mano".
- Los ordenadores utilizados, que son generalmente de dos tipos denominados en la tecnología informática como superminis y mainframes.
- La localización de las Estaciones de Trabajo, que depende de cada suministrador, pero presenta en general menos restricciones que los sistemas "llave en mano".
- Su capacidad de integración, que es potencialmente la más elevada, ya que pueden incluso compartir datos con aplicaciones tan fuera del ámbito gráfico como puede ser la gestión.

Y, por último, los recientes sistemas basados en microordenadores y caracterizados por:

- Ser sistemas de propósito general dotados de un software específico.
- Utilizar ordenadores que varían desde los personales a microordenadores de 32 bits, con potencia de cálculo comparable a los miniordenadores.
- Ser monopuesto.
- Poseer una muy pequeña capacidad de integración.

Si bien las soluciones descritas existen, en la actualidad es cada vez más frecuente encontrar soluciones "híbridas" que tratan de evitar las diferencias entre las distintas clases.

Así, por ejemplo, los sistemas llave en mano minimizan el problema de falta de integración y de su menor potencia, constituyendo asociaciones de sistemas con el concurso de un ordenador de propósito general.

Existe, sin embargo, una tendencia de carácter general, lo que podríamos definir como "tendencia a la distribución de recursos".

Esta tendencia está basada en la sustitución de la Estación de Trabajo convencional, que tenía una muy reducida capacidad de proceso, por Estaciones de Trabajo dotadas de una gran inteligencia que le permiten realizar prácticamente todas las operaciones de tipo gráfico. De esta forma, el ordenador central sólo interviene en aquellas operaciones que por su complejidad determinarán elevados tiempos de respuesta.

Dentro de la tendencia apuntada, existen soluciones más radicales en las que la Estación de Trabajo se convierte en un sistema informático completo, con frecuencia un sistema basado en microprocesadores de 32 bits, con capacidad de trabajar de forma autónoma (también conocidas como "*estaciones stand-alone*"). Este tipo de Estaciones de Trabajo se pueden agrupar en redes, formando un único sistema, mediante la colaboración de un ordenador de propósito general que asegura la comunicación entre las diferentes estaciones y el acceso a recursos comunes.

Como el lector puede imaginar, no es posible elegir entre las diferentes soluciones enunciadas. Cada problema, cada empresa, deben ser estudiados cuidadosamente para adoptar la solución acorde a sus necesidades.

Situación del mercado

Hay que destacar una característica fundamental del mercado del CAD/CAM que nos ayudará a su comprensión; esta carac-

terística no es otra que la especialización. Esto supone la preponderancia de unos suministradores sobre otros según el campo de aplicación en concreto. Veremos que, si bien existen fabricantes que cubren todo el espectro de aplicaciones, hay suministradores que, considerados globalmente, tienen una pequeña cuota de mercado, pero que, sin embargo, presentan una preponderancia casi absoluta en determinados campos de aplicación.

Los datos que poseemos se refieren al mercado mundial y corresponden a 1985 (a lo largo del capítulo trataremos de sacar conclusiones en cuanto a la situación del mercado en España); los exponemos en el cuadro de la figura 1.

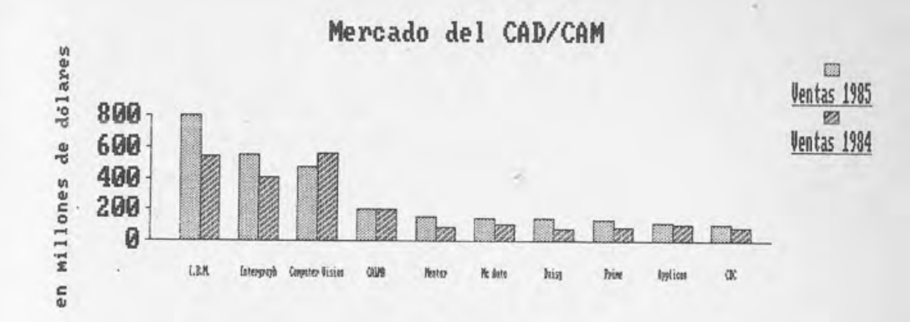
	Ventas 1985 (millones de dólares)	*Tasa crecimiento*
I. B. M.	800	49,00%
Intergraph	550	36,00%
Computer Vision	475	-15,00%
CALMA	200	,00%
Mentor	150	71,00%
Mc Auto	140	35,00%
Daisy	140	72,00%
Prime	130	44,00%
Applicon	115	10,00%
CDC	110	25,00%

Figura 1.—Ventas y tasa de crecimientos en el mercado de CAD/CAM.

Estos valores por sí solos no son en absoluto significativos, ya que el mercado del CAD/CAM tiene un comportamiento muy discontinuo, dada la juventud de esta tecnología; conviene, por tanto, proporcionar las tasas de crecimiento, relativas al año 1984, que también se encuentran en la figura 1. La representación gráfica de ambas tablas se puede ver en la figura 2.

Durante el último año se ha producido un cambio de líder: IBM ha desplazado a Computer Visión. Por otro lado ha habido una fuerte subida de las soluciones de tipo "micro", representadas fundamentalmente por Daisy y Mentor.

En la siguiente tabla representamos las diferentes compañías y el tipo de soluciones CAD/CAM que proporcionan.



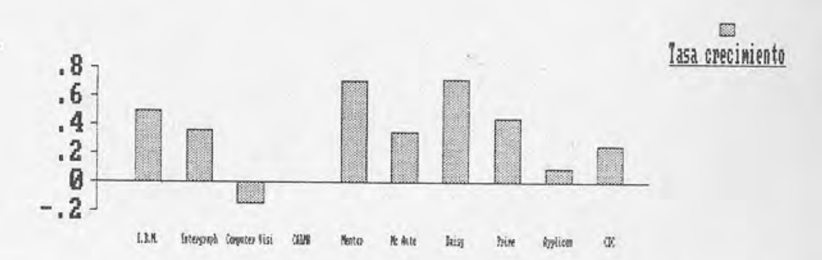


Figura 2.—Gráficos representativos de la situación del mercado mundial de CAD/CAM.

Compañía	*Tipo de solución*	*Tipo de ordenadores*
IBM	Propósito general	Mainfrane
Intergraph	Llave en mano	Supermini
Computer visión	Llave en mano	Mini
CALMA	Llave en mano	Supermini y micros
Mentor	Micro	Micros
Mc Auto	Llave en mano	Supermini
Daisy	Micro	Micro
Prime	Propósito general	Supermini
Applicon	Llave en mano	Supermini
CDC	Propósito general	Mainfrane

Conviene añadir que tanto Control Data (CDC) como IBM tienen en funcionamiento sistemas de tipo micro con capacidad autónoma y posibilidad de conexión a un sistema principal (host).

En este estudio de mercado no se han incluido ciertas soluciones CAD/CAM basadas en ordenadores personales. Entendemos que si bien en un futuro estas soluciones pueden llegar a ser

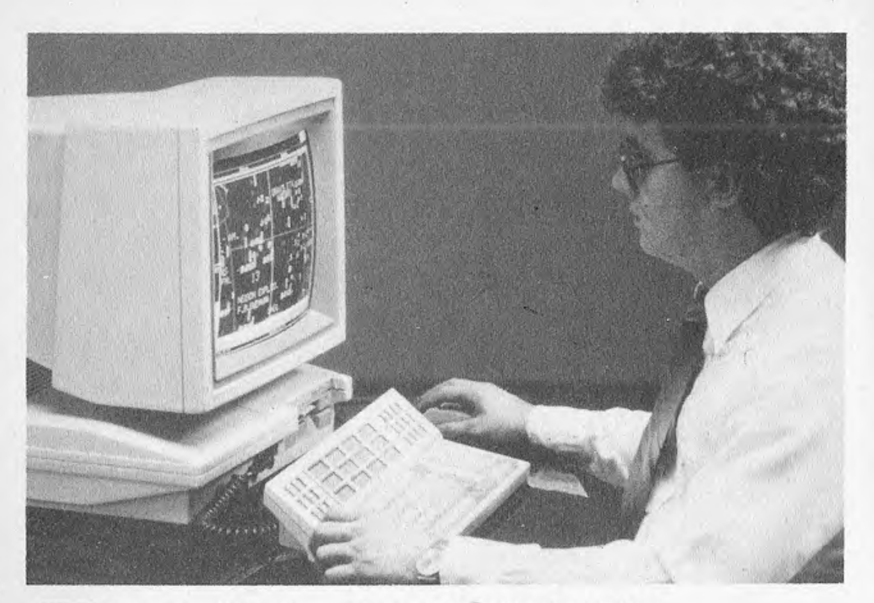


Figura 3.—Estación de Trabajo COMPUTERVISION.

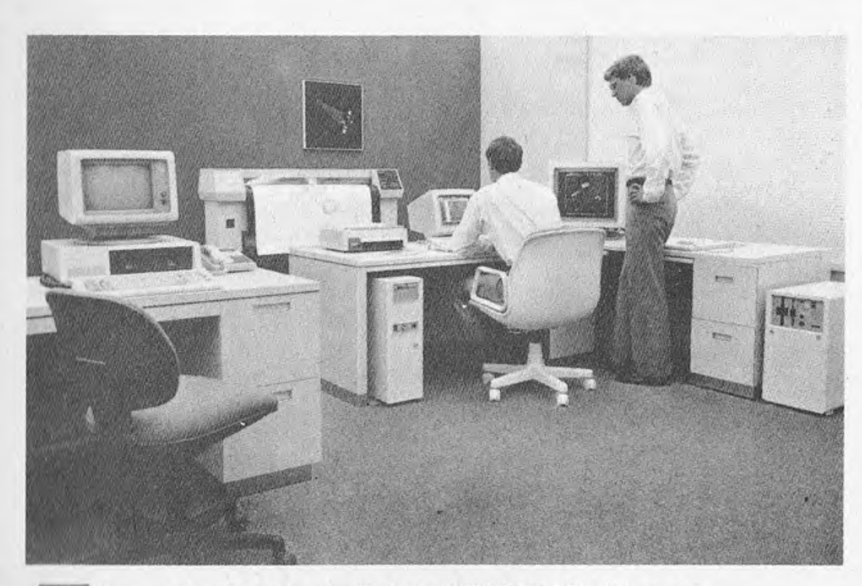


Figura 4.—Estación de Trabajo INTERGRAPH Interact.



Figura 5.—Estación de Trabajo INTERGRAPH Interpro.

representativas, en la actualidad, su posible incidencia en el terreno industrial no pasa de ser anecdótica.

Como ya hemos anunciado anteriormentente una característica muy importante del mercado del CAD/CAM es la especiali-

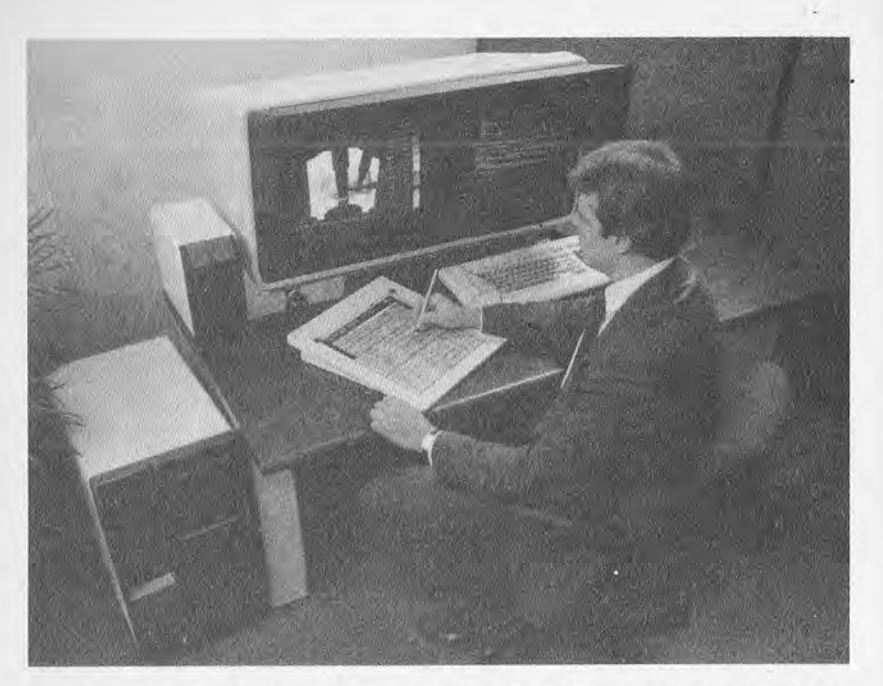


Figura 6.—Ejemplo de Estación de Trabajo autónoma de la firma Control Data.

zación. En la actualidad, podemos decir que las soluciones contemplan prácticamente todas las posibles aplicaciones del CAD/CAM, aunque sigue estando presente en todas ellas su especificidad.

Situación en España

El primer problema es que muchas de las soluciones que son líderes mundiales o no existen o tienen una muy baja implantación en nuestro país, tal es el caso de Mentor, Daisy, Mc Auto y Applicon.

Ahora bien, es previsible que todas estas compañías alcancen en España cuotas de mercado similares a las existentes en el mundo, sobre todo si tenemos en cuenta que representan, en la mayoría de los casos, soluciones basadas en sistemas pequeños, lo que concuerda perfectamente con las características de la industria española.

El volumen de negocio en el año 85 estaba alrededor de 2.500 millones de pesetas y un crecimiento previsto en torno al 30%.

Evolución

Un aspecto que aún no hemos valorado y que reviste singular importancia es la caída de las expectativas de ventas durante el año 1985. En el año 1984 el crecimiento del mercado del CAD/CAM fue del 53%, mientras que durante el año 85 el crecimiento relativo sólo alcanzó la cifra del 24%. Esta caída ha sido objeto de numerosos comentarios y análisis que han tratado de dar respuesta a este paradójico comportamiento.

Quizás el lector se pregunte si este hecho no significará que la tecnología CAD/CAM no es más que un edificio teórico que se revela como ineficiente en la práctica. La respuesta a esta justa pregunta es, obviamente, negativa. Las diferentes razones que a continuación exponemos justifican este extraño comportamiento del mercado:

- La baja de los precios de hardware.
- La existencia de soluciones de tipo "micro" que evitan tener que realizar las cuantiosas inversiones que eran necesarias anteriormente.
- Y, principalmente, una actitud más cuidadosa por parte del comprador, que de una parte ve la necesidad de utilizar estas tecnologías y, por otra, comprende los problemas derivados de su implantación y de su acertada elección.

Recientes informes predicen un crecimiento sostenido y moderado del mercado del CAD/CAM, con las siguientes características:

- La oferta de alternativas tecnológicas cambiantes, que proporcionarán acceso en breve tiempo a posibilidades que en la actualidad son calificadas como de ciencia-ficción.
- El cambio en las actitudes del comprador, que ha virado hacia la búsqueda de soluciones que proporcionen cada vez más integración, de forma que el CAD/CAM no se constituye como un elemento aislado, sino como herramienta integrada en la actividad general de ingeniería o producción.

Los datos anteriormente citados y las perspectivas del mercado pretenden ilustrar al lector acerca de un comportamiento que, como hemos podido ver, dista mucho de ser estable. Las ci-

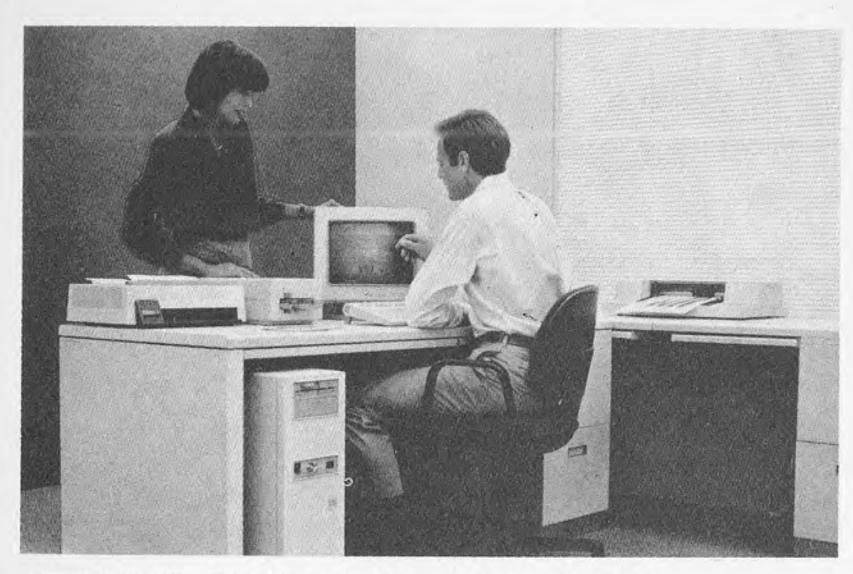


Figura 7.—Estación de Trabajo autónoma IBM-6510.

fras y estadísticas mostradas no pretenden determinar la elección de un sistema CAD/CAM, sino simplemente mostrar algunos aspecos muy generales sobre la implantación de las distintas soluciones.

A la hora de la verdad, cuando una empresa pretende adquirir un equipo, los datos expuestos resultan casi anecdóticos. Los responsables de la elección comienzan el peregrinar entre los diferentes suministradores, con las solas armas de su buena voluntad y, en algunos casos, con ideas un tanto mesiánicas en cuanto a las capacidades reales de esta tecnología. Ante tanto problema no es extraño que la elección no se produzca por las razones que a largo plazo debieran dar la solución, sino por argumentos de segundo orden, tales como si tal o cual solución muestra más o menos colores, si realiza tal o cual función, etc.

Las razones finales que el comprador debe contemplar son de otro orden, ya que las diferentes características que hemos denominado secundarias serán resueltas en las distintas versiones que el producto necesariamente contemplará.

Es necesario, por tanto, valorar la solución CAD/CAM dentro del marco global de la ingeniería: que comparta sus datos, que contribuya a la organización del proyecto y que, en definitiva, la herramienta nos sirva, y no al revés.

Como consejo útil, sugerimos a todo potencial comprador la contratación de los servicios de empresas de consultoría, que si bien son aún escasas, cuentan con excelentes profesionales que han apreciado y padecido los problemas del CAD/CAM. Este consejo es tanto más necesario si tenemos en cuenta que una vez adoptado un sistema de CAD/CAM, las posibilidades de un cambio son remotas y caras, ya que los costes de formación y los costes del cambio de la información de un sistema a otro, caso de que se pueda realizar, son bastante más elevados que los del propio sistema.

CAPITULO VII

TENDENCIAS FUTURAS

Las predicciones de futuro en la tecnología informática han resultado en general arrolladas por el crecimiento desbordante de los continuos adelantos en microelectrónica.

Aun a riesgo de que a nosotros nos ocurra lo mismo — y ojalá que así sea trataremos de dar una visión de las tendencias previsibles que a corto plazo son de esperar.

Podemos dividir las tendencias en hardware y software y lo que denominamos "tendencias estratégicas". Estas últimas hacen referencia a la "filosofía" que toda tecnología comporta y que conduce a cambios en todos los niveles de los procesos.

Hardware

En el capítulo hardware se consolidarán los terminales gráficos del tipo raster y en color tendiendo, naturalmente, a conseguir resoluciones y tamaños de pantalla crecientes.

En este mismo terreno es más que probable que se tienda a la adopción de terminales de cristal líquido, ya existentes, por otra parte, en la actualidad, pero con prestaciones aún inferiores a las logradas mediante el empleo de Tubos de Rayos Catódicos. La ventaja de este tipo de dispositivo es su menor volumen, lo que en definitiva se traducirá en la reducción del volumen total de la Estación de Trabajo.

Como característica común, en general, las Estaciones de Trabajo serán totalmente inteligentes, permitiendo que prácticamen-

te todas las operaciones gráficas pueden ser desarrolladas sin el concurso del host.

Una idea ya puesta en marcha y que es previsible que revolucione el mundo del CAD/CAM es la creación de "chips" especializados en determinadas operaciones gráficas que en la actualidad son resueltas por el software, lo que permitiría un ahorro considerable de tiempo.

Software

En el mundo del software la evolución previsible estará muy unida al anunciado crecimiento del hardware. Desde el punto de vista de las aplicaciones gráficas no es de esperar un gran desarrollo, dado que el existente en la actualidad es realmente espectacular y tiende a paliar las deficiencias del hardware.

Este tipo de comportamiento es normal y no exclusivo del CAD/CAM; en general, en las fases más primitivas de cualquier aplicación informática, el software suple las deficiencias derivadas de un hardware de propósito general.

Con el transcurso del tiempo, el hardware evoluciona adecuándose a las necesidades y libera al software de tareas costosas y tediosas, lo que se traduce en una disminución de los tiempos de proceso.

La anunciada, y ya actual, producción de circuitos integrados con funciones gráficas diversas permitirá que ciertas aplicaciones del CAD/CAM, actualmente consideradas poco operativas, se conviertan en usuales. Entre estas aplicaciones, la más importante es el Modelado Sólido.

Tendencias estratégicas

Según vemos, el software gráfico no va a crecer, al menos interiormente, aunque sí ciertamente en sus resultados prácticos. Sin embargo, el software va a jugar un papel preponderante en lo que denominamos tendencias estratégicas.

A lo largo de este libro hemos insistido en repetidas ocasiones sobre la necesidad de contemplar el CAD/CAM de una forma integrada, como un proceso más dentro del general de Producción e Ingeniería.

Al hablar de tendencias estratégicas nos referimos a aquellas que inciden a largo tiempo en los procesos y organizaciones de la Ingeniería prescindiendo de los detalles de las diferentes aplicaciones.

Un proyecto de ingeniería es algo muy complejo, en lo que intervienen personas y entidades dedicadas a tareas como: Organización de Proyectos, Recopilación de Datos de Ingeniería, Cálculo, Diseño, Pruebas de Control, de Configuración...; de manera que un producto de ingeniería no es simplemente un objeto que funciona, sino el fruto del trabajo integrado de todas estas personas y entidades, algunas un tanto intangibles, que constituyen lo que en lenguaje coloquial se denomina el "***Know-how***" (saber cómo).

El trabajo de este tipo de organizaciones internas es altamente integrado, de forma que todas comparten la misma información, esto es, los datos del proyecto. Si nosotros fuéramos capaces de integrar todas estas organizaciones mediante un sistema informático, los problemas que actualmente se plantean de redundancia de datos, errores en la comunicación de los mismos entre las organizaciones o falta de comunicación entre éstas, redundaría de seguro en un conjunto de mejoras que, aunque difícilmente evaluables, prometen ser espectaculares.

Este tipo de integración, desde la concepción hasta la fabricación es el objeto de una disciplina derivada del CAD/CAM que es denominada CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Así, pues, el CIM no es sino una filosofía de organización en la que se involucran diversos sectores. Como ejemplo de esto que acabamos de decir baste apuntar que, a nivel informático, algunas de las entidades citadas utilizan para su trabajo sistemas diferentes. Este tipo de problemas han de persistir en el futuro y, por tanto, su solución deberá venir de la comunicación entre los distintos sistemas, comunicación que ha de establecerse a todos los niveles.

Será así labor del software el desarrollo de aplicaciones que favorezcan esta integración, por encima de la que ahora puede encontrarse entre áreas tradicionalmente disjuntas como han sido la gestión y la ingeniería.

El CIM, en razón de su amplitud, no puede ser, como algunos suministradores pretenden, el objeto de una determinada aplicación software como lo es el CAD/CAM. Su amplitud y su dependencia de la organización interna de la empresa hacen que su solución, si bien ligada a la existencia de determinados programas de aplicación, sea una tarea de comunicación entre diferentes programas existentes, pero potenciados a tal fin.

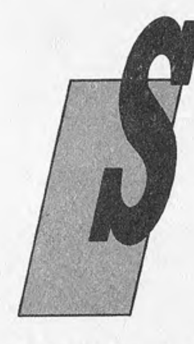
Aunque no nos es posible aventurar la influencia que puede tener la implantación de la filosofía CIM, es necesario tener en cuenta que en la mayoría de los proyectos las tareas de organización, control de configuración y documentación, emplean más

tiempo y recursos humanos que el personal dedicado a tareas de diseño.

Estas razones exclusivamente económicas, unidas a una mejora de la calidad del producto derivada de la existencia de datos más fiables y en mayor número, señalan la implantación de la filosofía CIM como el objetivo inmediato tras la puesta en marcha de la tecnología CAD/CAM.

APENDICE

GLOSARIO DE TERMINOS



Sin ánimo de resultar exhaustivos, ni mucho menos, recogemos a continuación una serie de términos, básicos en la terminología CAD/CAM, y a los cuales podrá acudir el lector para refrescar su memoria y ver así facilitada la lectura del libro.

Las referencias cruzadas se han indicado mediante letra cursiva.

A.I.: Siglas inglesas que significan "Artificial Intelligence" e identifican a la disciplina conocida como Inteligencia Artificial.

A.N.S.I.: Siglas inglesas que significan "American National Standard Institute" y que designan al Organismo Oficial de Estandarización de los Estados Unidos.

AUTO-ROUTING: Mediante este nombre se designa el conjunto de técnicas utilizadas para el trazado automático de pistas en Placas de Circuito Impreso *(PCB)*.

BATCH: Forma de proceso de los ordenadores también denominada proceso por lotes. En ella el ordenador sitúa los distintos trabajos en una cola de espera y los va ejecutando uno a uno.

BEZIER (CURVA o SUPERFICIE DE): Entidad Gráfica constituida por una curva o superficie que pasa por los puntos inicial y final de un conjunto de puntos que la determinan y que se aproxima a la poligonal determinada por el conjunto.

BIT: Acrónimo de las palabras inglesas BInary DigiT. El Bit se asocia a una realidad con dos posibles estados, y se constituye como la mínima unidad de información.

BIT-MAP: Representación aproximada de un gráfico por un conjunto de puntos, característico de los terminales raster.

B-REP: Término derivado de las palabras inglesas: Boundary REPresentation, que significan representación por superficies fronteras. Mediante B-REP designamos las técnicas de *modelado sólido* que utilizan la representación de superficies para la definición del sólido.

CAD/CAM: Palabra formada por las iniciales inglesas de Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, y que define el conjunto de tecnologías que utiliza de forma interactiva el ordenador para las tareas de Diseño y Fabricación.

CHIP: La palabra inglesa "Chip" designa a cualquier elemento hardware constituido por un circuito integrado y con funciones específicas.

C.I.M.: Siglas inglesas correspondientes a las palabras Computer Integrated Manufacturing, que describen una nueva filosofía de Diseño y Fabricación Integrada.

CONTROL NUMERICO: Tecnología de fabricación que supone el control de máquinas, herramientas mediante la definición de los puntos y trayectorias a recorrer por la herramienta.

CROSSHAIR: Dispositivo de apunte óptico consistente en la intersección de dos líneas perpendiculares.

C.R.T.: Siglas inglesas que significan "Cathode Ray Tube". Su traducción es "Tubo de Rayos Catódicos".

C.S.G.: Siglas inglesas correspondientes a "Constructive Solids Geometry", que designan los métodos de *modelado sólido* mediante primitivas.

D.I.N.: Siglas alemanas que identifican al Instituto Alemán de Normalización.

DISEÑO PARAMETRICO: Técnica de diseño consistente en la utilización de un lenguaje gráfico que permite la definición de piezas con parámetros variables, consiguiéndose de esta forma gran flexibilidad en la generación de elementos con propiedades comunes y dimensiones diferentes.

ESTACION DE TRABAJO: Traducción castellana del término "Work Station", que designa el conjunto de elementos hardware que configuran las herramientas necesarias para el *CAD/CAM*.

ESTEREOGRAFIA: Técnica fotográfica que consiste en la fotografía simultánea del objeto desde dos puntos de vista diferentes; al ser observado cada uno con un ojo permite que el observador perciba una sensación de relieve.

F.E.M.: Término inglés formado por las iniciales de las palabras Finite Element Modelling, que significa *Modelado por Elementos Finitos*.

FLICKING: Fenómeno que se presenta en los vídeo-terminales y que consiste en el parpadeo de la imagen.

G.K.S.: Siglas inglesas que significan "Graphics Kernel System". Mediante GKS designamos un estándar ampliamente extendido que normaliza el diálogo entre la aplicación y el hardware gráfico.

HARD-COPY: Podríamos traducir este término como copia inalterable. Con él nos referimos también a los dispositivos utilizados para la copia en papel del contenido de un *terminal gráfico*.

HARDWARE: Término que designa los elementos físicos sobre los que se utiliza una tecnología. Usualmente se identifica con la electrónica.

HOST: Se designa como host, dentro de un sistema informático, al ordenador principal encargado de los recursos del sistema y en el cual se ejecutan las aplicaciones. La palabra host no presupone ningún tipo de ordenador, aunque generalmente suele hacer referencia a *miniordenadores o mainframes*.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL: Tecnología informática que pretende, entre otras cosas, el desarrollo de aplicaciones con capacidad de aprendizaje y toma de decisiones en función de su experiencia (sistemas expertos).

INTERFACE: El término interface define al conjunto de medios *hardware y software*, que permiten la comunicación entre diferentes sistemas.

I.S.O.: Siglas que significan "International Standard Organization" e identifican al Organismo Internacional de Estandarización con implantación mundial.

KNOW-HOW: Literalmente significa "Saber cómo" y se refiere al conjunto de procedimientos, técnicas y experiencias que posee un individuo o corporación para la realización de una tarea.

LAPIZ OPTICO: Elemento *hardware* integrante de la *Estación de Trabajo*, que se utiliza como elemento de selección y dibujo.

MAINFRAME: Son los ordenadores de capacidad más elevada. Poseen una estructura muy distribuida, de forma que delegan las funciones de entrada/salida a dispositivos específicos, lo que les confiere una gran versatilidad. Este tipo de ordenador posee con carácter general capacidad multipuesto y multitarea.

MAPPING: Mediante este nombre se designa todo el conjunto de técnicas que dan como resultado la creación de planos cartográficos.

MICROORDENADOR: Tipo de ordenador basado en microprocesador. Son los de menor potencia, aunque realmente las nuevas generaciones de microprocesadores de 16 y 32 bits hacen que sus diferencias con los *miniordenadores* sean cada vez menos claras.

MINIORDENADORES: Tipo de ordenador de potencia intermedia entre los *mainframe* y los *microordenadores* que posee capacidad multipuesto y multitarea.

MODELADO POR ELEMENTOS FINITOS: Representación de un sólido, mediante sólidos elementales, con el fin de proceder a su análisis dinámico, estático o térmico. Este tipo de técnicas permiten simular el comportamiento del objeto ante diferentes situaciones físicas.

MODELADO SOLIDO: Representación completa de un objeto tridimensional. En este tipo de modelización se engloba el *modelo de superficies* e incluye información de las zonas ocupadas por el sólido en ellas.

MODELO EN JAULA DE ALAMBRES: Modelización de un objeto tridimensional mediante un conjunto de líneas que forman una jaula y que aproximan la forma externa del objeto.

MODELO DE PRIMITIVAS: Representación englobada dentro del *modelado sólido,* consistente en la utilización de un conjunto de sólidos elementales, denominados "primitivas", que mediante operaciones de tipo booleano consiguen la representación del objeto.

MODELO DE SUPERFICIES: Modelización de un objeto tridimensional consistente en la representación de las superficies que lo determinan.

MODELO WIREFRAME: Término inglés correspondiente a *modelo en jaula de alambres.*

N.B.S.: Siglas inglesas que significan "National Bureau of Standards". El NBS es una organización norteamericana de normalización.

N.C.: Siglas correspondientes a "Numerical Control", que significan *Control Numérico.*

NESTING: Este término inglés se emplea al referirse a las técnicas utilizadas para establecer la disposición de varias superficies en una dada, con el fin de obtener el máximo número de ellas en una operación como el corte de una plancha o similar.

OCTREE: Modelo de representación del tipo *modelado sólido,* que utiliza simultáneamente un árbol jerárquico de descomposición y una descomposición en cubos (hexaedros).

PANNING: Operación gráfica consistente en la visualización de distintas zonas de un modelo mediante el desplazamiento de una ventana de visualización por el modelo.

P.C.B.: Siglas inglesas que significan Printed Circuit Board. Su traducción al castellano es Placa de Circuito Impreso.

PEL: Lo mismo que *Pixel.*

PIPING: Término inglés derivado de la palabra pipe (tubería). Mediante piping designamos el conjunto de aplicaciones de *CAD/CAM* que facilitan la distribución de tuberías o cables sobre una determinada estructura soporte.

PIXEL: Acrónimo de las palabras inglesas Picture Element. Designa la unidad de información gráfica, es decir, un punto.

PLOTTER: Elemento hardware utilizado para la representación en papel de las entidades gráficas.

POSTPROCESADOR FEM: Programa que partiendo de los resultados del análisis por Elementos Finitos es capaz de representar gráficamente las variaciones de la geometría.

PREPROCESADOR FEM: Programa que partiendo de una geometría genera la malla que constituyen los elementos finitos, de forma que el sólido pueda ser analizado.

RASTERIZACION: Operación que produce una imagen de puntos a partir de entidades geométricas.

RATON: Elemento hardware integrante de la *Estación de Trabajo* utilizado como elemento de designación y dibujo. A diferencia del *lápiz óptico* no necesita la utilización de *tableta gráfica,* siendo un dispositivo de tipo relativo, de manera que la posición varía con los movimientos relativos por deslizamiento realizados por el ratón desde su última posición.

ROBOT: Entendemos como robot un dispositivo que, gobernado por un control no humano, es capaz de realizar operaciones de manipulación de objetos como un ser humano.

ROBOTICA: Tecnología que se encarga del funcionamiento de los *robots.*

S.E.T.: Siglas que significan "Standard d'Exchange et de Transfert", que identifican a un estándar de transferencia de información gráfica muy difundido en la industria aeroespacial.

SOFTWARE: Término que designa el conjunto de instrucciones modificables que permiten la realización de diferentes tareas sobre un determinado *hardware.* Es lo que normalmente se conoce como "programas o aplicaciones de ordenador".

SPLINE (CURVA o SUPERFICIE): Entidad Gráfica constituida por una curva o superficie que pasa por un conjunto de puntos que la determinan y compuesta por trozos de polinomios que empalman de forma suave.

STAND-ALONE: Se aplica refiriéndose a una *Estación de Trabajo* y designa aquella que es capaz de trabajar de forma autónoma sin el concurso de un ordenador. Las estaciones stand-alone están constituidas por un *terminal gráfico* y un *microordenador* con capacidad y recursos suficientes para soportar los requerimientos de una aplicación *CAD/CAM.*

S.T.E.P.: Siglas que significan "Standard for the Eschange of Product Model Data". El STEP pretende ser un estándar mundial para la transferencia de información *CAD/CAM.*

SUPERMINI: Tipo de ordenador que teniendo la estructura interna

de los *miniordenadores* presenta capacidades y potencias de proceso que le hacen asimilable a un *mainframe*.

SWEEP: Técnica de generación de superficies y sólidos mediante barrido de un perfil en una dirección dada.

TABLETA GRAFICA: Elemento *hardware* integrante de la *Estación de Trabajo* que, utilizado junto con un elemento de designación y dibujo, permite la realización de dichas funciones. La tableta se comporta cara al operador como una representación absoluta del espacio.

TERMINAL GRAFICO: Elemento hardware integrante de la *Estación de Trabajo* en el cual se representan las entidades gráficas propias del *CAD/CAM*. Está constituido normalmente por un monitor similar a los conjuntos de televisión domésticos.

TURN-KEY: Término inglés que designa a las denominadas soluciones "llave en mano". Mediante este término entendemos que el suministrador proporciona el conjunto completo de medios *hardware* y *software* que hace viable el funcionamiento del equipo para una aplicación muy específica de *CAD/CAM*.

V.D.A.-F.S.: Siglas alemanas que identifican un estándar de transferencia de información *CAD/CAM*. El VDA-FS contempla de manera especialmente completa las entidades de tipo superficie, siendo ampliamente utilizado en la industria de la automoción.

VECTORIZACION: Operación consistente en identificar entidades geométricas en una imagen de puntos *(pixel)*.

ZOOM: Operación gráfica consistente en la aplicación o disminución de los gráficos presentados en un terminal.

BIBLIOGRAFIA

Sistemas CAD/CAM.
J. San Leandro. *Mundo Electrónico*, n. 138, 1984.

Diseño Geométrico Asistido por Computador.
Pere Brunet i Crosa. *Mundo Electrónico*, n. 138, 1984.

Pantalla Gráfica de Alta Resolución para CAD/CAM.
Francesc Casasayas. *Mundo Electrónico*, n. 138, 1984.

El Control Numérico y la Progamación Manual de MHCN.
Juan González. *Urmo*, 1984.

Curso de Robótica.
J. M. Angulo y R. Avilés. *Paraninfo*, 1985. (2.ª ed.).

Robótica práctica.
J. M. Angulo. *Paraninfo*, 1985.

Los ordenadores de la quinta generación.
G. L. Simons. *Díaz de Santos*, 1985.

Visión artificial por computador.
Angulo y R. Iñigo Madrigal. *Paraninfo*, 1986.

Inteligencia Artificial, guía fácil.
Angulo y del Moral. *Paraninfo*, 1986.

Sistemas expertos.
Alty y Coombs. *Díaz de Santos*, 1986.

Fundamentals of Interactive Computer Graphics.
Foley & Van Dam. *Addison-Wesley*, 1982.

Interactive Computer Graphics.
Carl Machover. *Computer Graphics*, 1984.

Principles of Interactive Computer Graphics.
W. M. Newman & R. F. Sproull. *McGraw-Hill*, 1983.





a irrupción de la tecnología informática CAD/CAM en un terreno hasta ahora no afectado por la innovación informática ha supuesto una auténtica revolución. En efecto, el mundo del diseño geométrico y de la producción y automatización industrial se ha visto alcanzado hasta en sus cimientos por la nueva adquisición tecnológica.

El estudio de los elementos hardware y software que la integran, de las posibilidades ofertadas por los distintos suministradores y, en definitiva, de los riesgos y ventajas de su implantación constituyen el objeto del presente volumen.

395 pts.
(incluido IVA)